This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

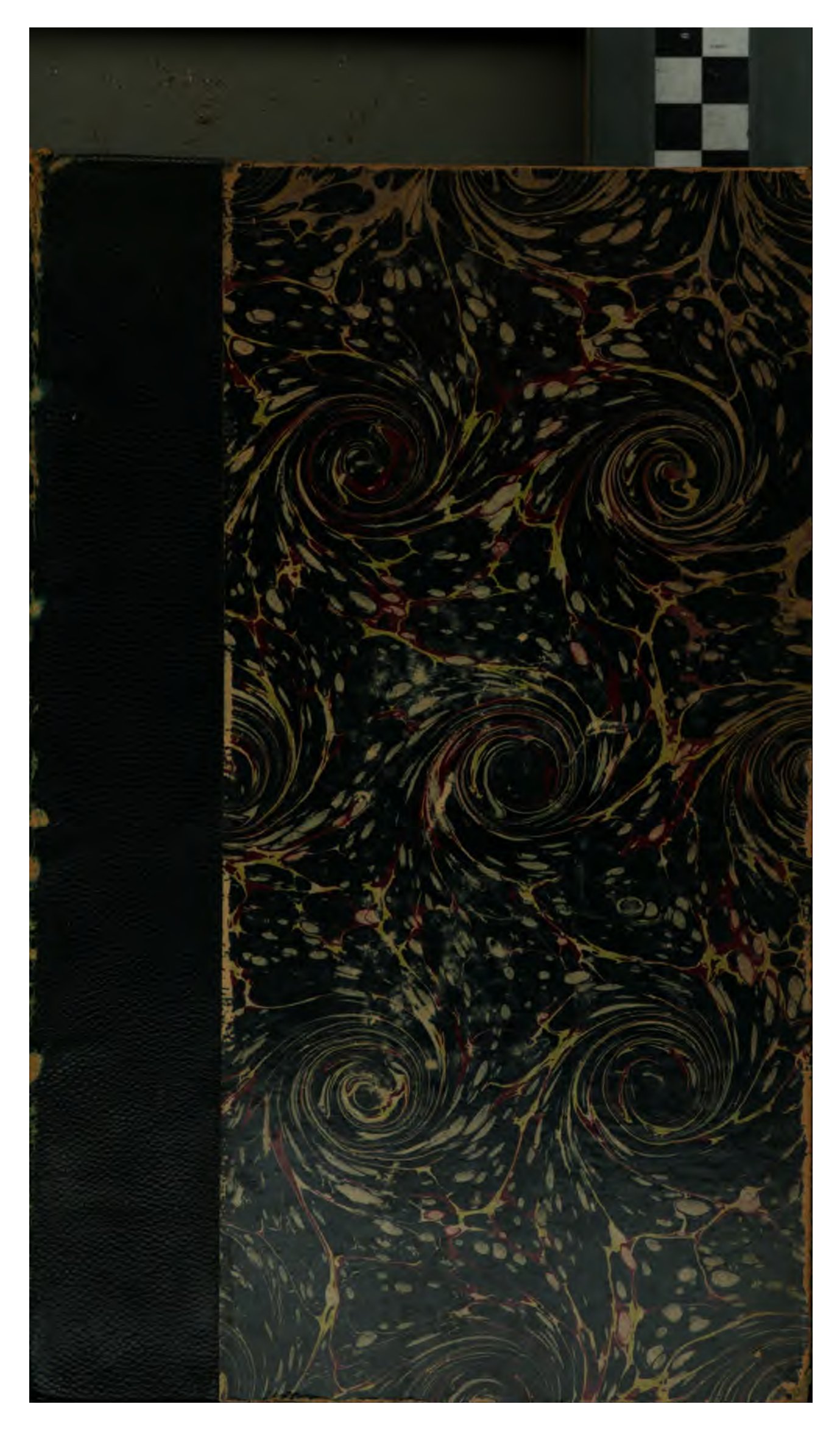
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

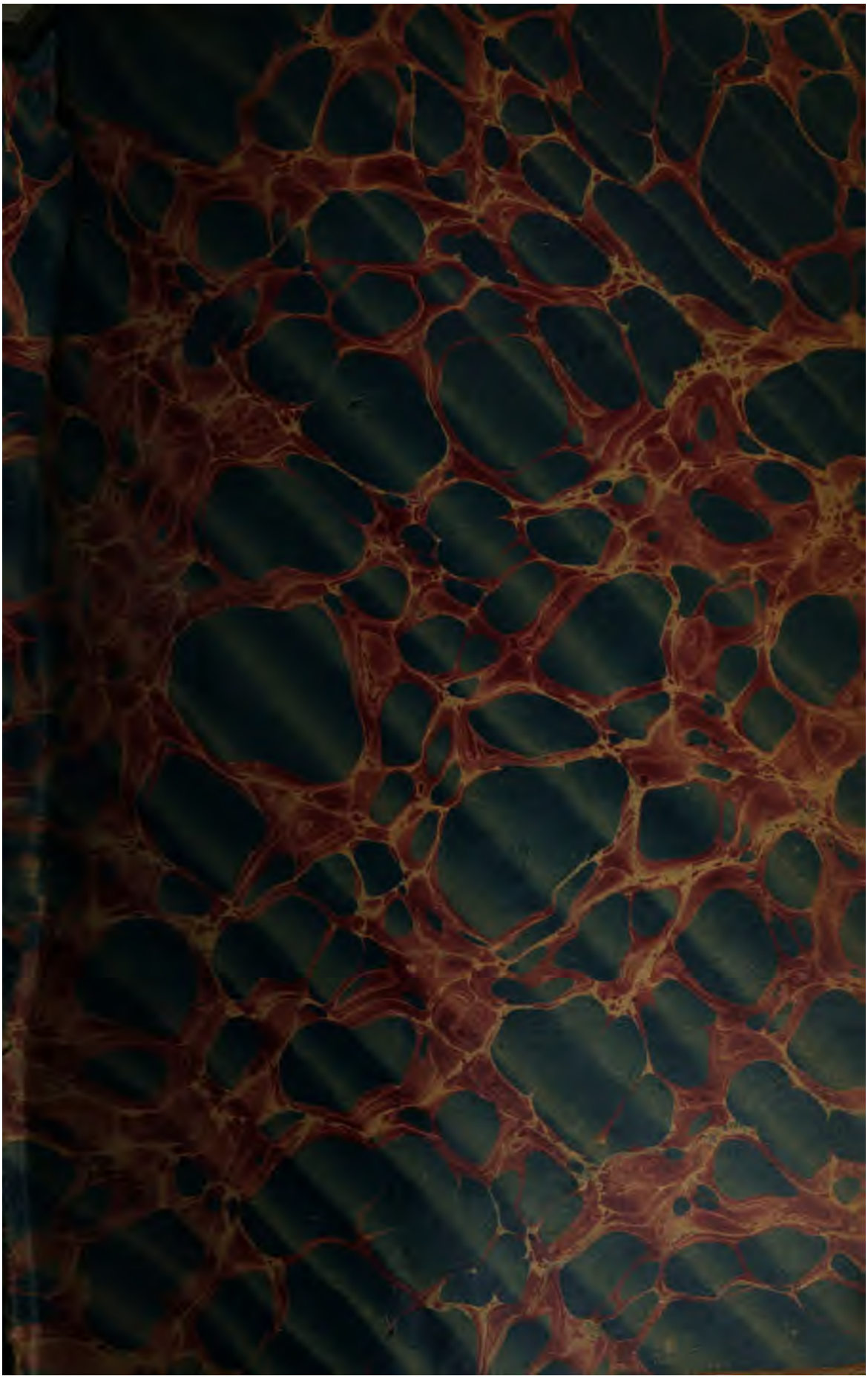
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



University of Wisconsin
LIBRARY
Class TG
Book .S66
2



TRAITÉ

DE

PHYSIQUE INDUSTRIELLE

Le Traité de physique industrielle est publié en deux volumes dont l'un a paru en 2 fascicules.

Tome Ier. — Principes généraux, foyers, récepteurs de chaleur, cheminées, ventilateurs, etc., thermo-dynamique. 1 vol. in-8°, avec 362 figures. 22 fr. 50

Tome II. — Première partie : Chaudières a vapeur. Distillation. Évaporation. Séchage. Désinfection. 1 vol. in-8°, avec 226 figures..... 12 fr.

Tome II. — Seconde partie : Chauffage et ventilation des lieux habités. 1 vol. in-8°, avec 202 figures..... 12 fr.

Chaque partie est vendue séparément.

L'ouvrage complet pris ensemble..... 45 fr.

3890-89. — Corbeil. Imprimerie Crété.

TRAITÉ

DE

PHYSIQUE INDUSTRIELLE

PRODUCTION ET UTILISATION

DE LA CHALEUR

PAR

L. SER

INGÉNIEUR

PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES
MEMBRE DU CONSEIL DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
MEMBRE DE LA COMMISSION CENTRALE DES MACHINES A VAPEUR
ANCIEN INGÉNIEUR DE L'ADMINISTRATION GÉNÉRALE DE L'ASSISTANCE PUBLIQUE

AVEC LA COLLABORATION

DE MM.

L. CARETTE et E. HERSCHER

INGÉNIEURS DES ARTS ET MANUFACTURES
MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS
MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ DE MÉDECINE PUBLIQUE ET D'HYGIÈNE PROFESSIONNELLE

TOME II

Contenant 428 figures et 12 modèles d'installation.

PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de Médecine.

1892

Droits de traduction et de reproduction réservés.

32858

TG
·S E6
2

693940

TRAITÉ
DE
PHYSIQUE INDUSTRIELLE

TOME II

CHAPITRE PREMIER

CHAUDIÈRES A VAPEUR

§ Ier

PRÉLIMINAIRES

657. La vapeur joue un rôle si important dans l'industrie depuis l'invention des machines à vapeur, et ses applications se sont étendues à des usages si nombreux et si variés, que l'étude des appareils destinés à la produire présente un intérêt exceptionnel.

Ces appareils sont désignés sous le nom de *chaudières à vapeur* ou de *générateurs de vapeur*. Avant d'étudier les formes diverses qu'on leur donne et les conditions de leur fonctionnement, il nous paraît nécessaire de rappeler sommairement les notions de physique relatives aux propriétés de la vapeur d'eau.

658. Pression de la vapeur saturée. Relation avec la température. — Lorsqu'on chauffe de l'eau dans un vase ouvert à l'air libre, la température s'élève progressivement; il se

dégage à la surface des vapeurs de plus en plus abondantes et. sous une pression de $0^m,76$ de mercure, l'eau pure entre en ébullition régulière à la température de 100°; à partir de ce moment, la température reste constante tant que la pression ne change pas.

Si le vase est fermé, suivant que la pression intérieure est au-dessus ou au-dessous de $0^m,76$ de mercure, l'ébullition s'établit à une température supérieure ou inférieure à 100°.

La température est d'autant plus élevée que la pression est plus forte, et à chaque pression correspond une température déterminée, toujours la même, quels que soient le volume d'eau employé, le volume de vapeur produit, l'activité de la combustion et en général les circonstances de l'ébullition. La pression est donc une fonction de la température seule.

659. Un grand nombre de physiciens, Dalton, Dulong et Arago, Magnus, etc., se sont occupés de la recherche de la relation qui doit exister entre la température et la pression de la vapeur saturée; mais c'est surtout M. Regnault qui, dans des expériences célèbres, a déterminé avec précision la température correspondant à chaque pression et qui a donné des tables universellement adoptées. Ces expériences sont décrites dans tous les traités de physique.

On a essayé d'exprimer par une formule la loi qui doit relier tous les résultats et on en a proposé un grand nombre, en généra assez compliquées.

Tredgold a donné la formule

$$H=\left(\frac{t+75}{85}\right)^6$$

t température en degrés centigrades,
H pression de la vapeur en centimètres de mercure.

La formule de Dulong et Arago est

$$p=[1+0{,}007153(t-100)]^5$$

t température en degrés centigrades,
p pression de la vapeur en atmosphères.

Ces formules ne donnent que des résultats approchés et qui, pour les températures, diffèrent jusqu'à 1°,6 des nombres réels.

Pour représenter plus exactement les résultats de l'expérience, M. Regnault a été conduit à la formule suivante applicable de 40° à 230°

$$\log F = a - b\alpha^x - c\beta^x$$

F, pression en millimètres de mercure.

$$a = 6,2640348$$

$\log b = 0,1397743$ $\log c = \bar{0},6924351$

$\log \alpha = \bar{1},994049292$ $\log \beta = \bar{1},998343862$

$x = t + 20°$, t étant la température en degrés centigrades.

Cette formule, utilisée dans les recherches mathématiques, est à cause de sa complication peu employée dans la pratique. Afin de faciliter les calculs, on a dressé des tables qui donnent pour chaque température, la pression correspondante dans les limites des expériences de M. Regnault. On les trouvera à la fin du premier volume de cet ouvrage. Nous donnons ici les températures correspondant aux pressions de 1 à 16 atmosphères.

Atmosphères.	Températures.	Atmosphères.	Températures.
1	100°,00	9	175°,77
2	120,60	10	180,31
3	133,91	11	184,50
4	144,00	12	188,41
5	152,22	13	192,08
6	159,22	14	195,53
7	165,34	15	198,80
8	170,81	16	201,90

660. L'examen de ces nombres fait reconnaître que la pression de la vapeur augmente très rapidement avec la température. Pour passer de 1 à 2 atmosphères, il faut augmenter la température de 100° à 120°,6, soit 20°,6 de différence, tandis que pour passer de 9 à 10 atmosphères, il suffit d'élever la température de 175°,77 à 180°,31, soit une différence de 4°,54.

Il résulte de là qu'on ne peut obtenir la vapeur saturée à une température élevée qu'au moyen de pressions considérables. et, comme les difficultés et le danger augmentent avec la pres-

sion, on est nécessairement très limité pour la température de la vapeur saturée. Jusqu'à ces dernières années on ne dépassait guère 6 à 7 atmosphères, c'est-à-dire 159°,12 à 165°,4.

Certaines industries utilisent aujourd'hui la vapeur à des pressions variant de 12 à 15 atmosphères correspondant à des températures de 188°,41 à 198°,80. On ne dépasse que très rarement ces pressions.

661. La manière de compter la tension de la vapeur dans les chaudières n'est pas identique dans tous les pays; on l'évalue même en France de plusieurs façons; il importe donc de donner quelques explications à ce sujet pour éviter des confusions et des erreurs.

On mesure souvent la pression en atmosphères. Une atmosphère équivaut à une colonne de mercure de $0^m,76$ de hauteur, ou bien à une colonne d'eau de $10^m,334$, ce qui représente une pression de 10334 kilogrammes pour 1 mètre carré; et de $1^k,0334$ pour 1 centimètre carré.

Une cause fréquente de confusion et d'erreur consiste en ce que l'on estime les pressions tantôt en pressions absolues, tantôt en pressions effectives. Voici quelle est la différence entre ces deux modes d'évaluation.

La pression *absolue* de la vapeur dans une chaudière est la pression *totale* intérieure, qui serait mesurée par une colonne de mercure au-dessus de laquelle il y aurait le vide.

La pression *effective* est la pression réellement supportée par le métal de la chaudière, ou la *différence* de tension entre l'intérieur et l'extérieur; c'est la force élastique qui serait mesurée par une colonne de mercure communiquant librement avec l'atmosphère par sa face supérieure.

Dans les conditions ordinaires, la pression effective est égale à la pression absolue diminuée d'une atmosphère.

Les anciens règlements évaluaient la pression en pression absolue et en atmosphères, tandis que les nouveaux l'estiment en pression effective et en kilogrammes par centimètre carré.

Il est facile de passer d'une valeur à l'autre.

En désignant par p_a la pression absolue en atmosphères et

par p_e la pression effective en kilogrammes par centimètre carré, on a la relation

$$p_e = (p_a - 1)1,033.$$

Le tableau suivant donne les valeurs correspondantes de p_e et de p_a

p_a	1	2	3	4	5	6	8	10
p_e	0	$1^k,033$	$2^k,066$	$3^k,099$	$4^k,132$	$5^k,165$	$7^k,231$	$9^k,297$

Le nombre des atmosphères absolues, diminué d'une unité, est un peu plus faible que la pression effective en kilogrammes par centimètre carré.

En Angleterre et en Amérique, on évalue la pression en livres par pouce carré et on compte en pression effective.

Une atmosphère correspond à 14,68 livres par pouce carré.

662. Ébullition de l'eau privée d'air. — Le phénomène de l'ébullition de l'eau ne s'accomplit pas toujours dans les conditions régulières que nous avons vues. Il est quelquefois profondément modifié sous l'influence de certaines circonstances.

M. Gernez a démontré par un grand nombre d'expériences très intéressantes que, pour que l'ébullition se produise à la température normale, la présence d'une bulle d'air dans le liquide est indispensable.

On a pu porter la température de l'eau privée d'air à 120°, 130° et même à 178° (sous forme de bulle dans un liquide gras de même densité), sans produire l'ébullition.

Pour déterminer l'ébullition du liquide ainsi surchauffé, il suffit d'y introduire une bulle d'air ou plus simplement un corps solide quelconque qui retient toujours de l'air adhérent à sa surface. L'ébullition se produit alors d'une manière tumultueuse et les bulles de vapeur viennent crever à la surface avec de violents soubresauts.

On a cherché à expliquer, à l'aide de ces phénomènes, certains faits constatés dans le fonctionnement des chaudières à vapeur, tels que des trépidations violentes et quelquefois des explosions ; mais les recherches auxquelles s'est livrée une commission

spéciale, nommée par le Gouvernement, ont démontré, qu'en pratique, les circonstances exceptionnelles nécessaires au surchauffement de l'eau ne se réalisaient jamais.

663. Ebullition de l'eau renfermant des sels. — Lorsque l'eau renferme des sels en dissolution, l'ébullition ne se produit qu'à une température supérieure à la température normale. Ainsi l'eau qui renferme 7,7 p. 100 de sel marin ne bout qu'à 101° et l'ébullition est retardée jusqu'à 108° si la proportion s'élève à 39,7 p. 100.

Toutes les eaux employées à l'alimentation des chaudières renferment toujours des sels en dissolution; la température d'ébullition doit être retardée en proportion de la quantité de sels dissous; mais cette proportion, étant toujours assez faible, n'a pas d'influence sensible, en pratique, sur la température d'ébullition.

664. État sphéroïdal. — Si l'on verse quelques gouttes d'eau dans une capsule métallique fortement chauffée, elles se réunissent en un globule arrondi plus ou moins aplati et l'ébullition ne se produit pas. Ce phénomène particulier a été étudié avec beaucoup de soin par M. Boutigny, qui a désigné cet état du liquide sous le nom d'état sphéroïdal.

On a constaté, par des expériences directes, que la température du globule ne dépassait pas 98°, et que, dans les parties supérieures, elle pouvait rester à 90°. On a constaté également, de diverses manières, qu'il n'y avait pas contact entre le globule et la paroi métallique chauffée.

Si la température du métal s'abaisse à 140°, le contact s'établit et l'ébullition se produit d'une manière à peu près instantanée. Il est probable que la température à laquelle s'établit ce contact augmente avec la pression que supporte ce liquide.

On a essayé d'expliquer par l'état sphéroïdal certaines explosions de chaudières à vapeur; nous reviendrons sur ce sujet dans le paragraphe relatif aux accidents.

Ce qu'il faut retenir de ces faits, c'est que l'eau ne mouille pas une paroi dont la température est suffisamment élevée, et

que les conditions de la transmission de la chaleur doivent être complètement changées par suite de ce défaut de contact.

665. Chaleur nécessaire à la production de la vapeur. — La quantité de chaleur λ nécessaire pour chauffer à t° un kilogramme d'eau prise à 0° et le vaporiser à cette température peut se diviser en deux parties : l'une q est employée à chauffer de 0° à t° l'eau liquide; l'autre r est la chaleur absorbée par la vaporisation sans changement de température.

On a ainsi

$$\lambda = q + r.$$

M. Regnault a donné pour déterminer q et r les formules suivantes :

$$q = t + 0{,}00002t^2 + 0{,}0000003t^3.$$

En appliquant la formule on trouve que, pour échauffer un kilogramme d'eau de 0° à 100° sans le vaporiser, il faut 100,5 calories. Il résulte de là que la chaleur spécifique de l'eau n'est pas tout à fait constante et qu'elle augmente un peu avec la température.

Sa valeur c déduite de la relation précédente est

$$c = \frac{dq}{dt} = 1 + 0{,}00004t + 0{,}0000009t^2$$

On trouve ainsi :

à 0°	$c = 1$
à 100°	$c = 1{,}013$
à 150°	$c = 1{,}02625$

Les différences sont trop faibles pour qu'il y ait lieu d'en tenir compte dans les applications industrielles ; on regarde en général la chaleur spécifique comme constante et égale à l'unité, et on prend

$$q = t.$$

666. La valeur de r, chaleur de vaporisation, a donné lieu à de nombreuses discussions avant les expériences de M. Regnault.

Watt pensait que, pour échauffer un poids d'eau de 0° à une

température quelconque et le vaporiser à cette température, il fallait fournir une quantité de chaleur constante.

Pour lui, la quantité λ était la même pour toutes les températures et égale à 625.

Le terme q étant égal à t, la chaleur latente devait diminuer avec la température et on avait

$$r = \lambda - t = 625 - t.$$

Southern prétendait, au contraire, que la chaleur latente r était constante et égale à $r = 525$, et, par suite, que la chaleur totale λ dépensée à partir de 0°, était par kilogr.

$$\lambda = 525 + t$$

et augmentait avec la température.

Par ses expériences, M. Regnault a démontré qu'aucune de ces deux lois n'est exacte et il a trouvé la formule

$$\lambda = 606,5 + 0,305t.$$

Si l'eau était prise à la température θ, on aurait exactement

$$\lambda = 606,5 + 0,305t - \theta - 0,00002\theta^2 - 0,0000003\theta^3$$

ou simplement en pratique,

$$\lambda = 606,5 + 0,305t - \theta.$$

Il résulte de là que la chaleur latente diminue un peu avec la température; on a

$$r = \lambda - q = 606,5 - 0,695t - 0,00002t^2 - 0,0000003t^3$$

ce qui donne

Températures.	Valeurs de r.
0°	606,5
25	599,108
50	571,663
75	554,136
100	536,500
125	518,727
150	500,788
175	482,655
200	464,300

Les résultats entre 0° et 200° peuvent être représentés approximativement par la formule de Clausius.

$$r = 607,0 - 0,708\,t.$$

667. Densité de la vapeur. — La densité de la vapeur d'eau est un élément très important du calcul des machines à vapeur et de la vitesse d'écoulement de ce fluide; il importe de connaître, avec autant d'exactitude que possible, le poids du mètre cube aux différentes pressions et aux différentes températures.

Pendant longtemps on a admis qu'on pouvait le déterminer au moyen des lois de Mariotte et de Gay-Lussac, et on le calculait par la formule :

$$\gamma = 1^k,293 d \frac{p}{10,334} \frac{1}{1 + \alpha t}$$

dans laquelle :

γ est le poids du mètre cube en kilogrammes;

d la densité de la vapeur par rapport à l'air, c'est-à-dire le rapport des poids de volumes égaux de vapeur et d'air à la même température et à la même pression;

t la température en degrés centigrades;

p la pression en mètres de hauteur d'eau;

On prenait pour d le nombre 0,622. C'est celui trouvé par Gay-Lussac, et qui résulte de la loi des équivalents chimiques.

On le supposait constant pour toutes les températures et toutes les pressions.

668. Navier remarquant que la pression était toujours liée à la température, avait posé la formule plus simple

$$\gamma = a + bp$$

dans laquelle il n'entre que la pression.

Cette formule a été longtemps en usage bien que, pour avoir des valeurs satisfaisantes, on fût obligé de faire varier les coefficients a et b suivant la pression. Elle est aujourd'hui abandonnée.

669. Dans ces derniers temps la théorie mécanique de la chaleur a conduit M. Clausius à une nouvelle formule

$$r = \mathrm{AT}u\frac{dp}{dt}$$

dans laquelle :

r est la chaleur de vaporisation (**668**) que l'on trouve dans les tables ;

A est l'équivalent calorifique du travail, $\mathrm{A} = \frac{1}{424}$;

T est la température absolue de la vapeur. $\mathrm{T} = 273 + t$;

t étant la température en degrés centigrades ;

$\frac{dp}{dt}$ est le rapport de l'accroissement de pression à l'accroissement de température qu'on calcule au moyen des nombres de M. Regnault et qu'on trouve dans la table ;

Enfin u est l'accroissement de volume qu'éprouve 1 kilogramme d'eau en passant de l'état liquide à l'état de vapeur.

Les expériences de M. Regnault donnent avec la plus grande précision les valeurs de la chaleur de vaporisation r et du coefficient différentiel $\frac{dp}{dt}$. On peut donc tirer de cette formule les valeurs correspondantes de u pour toutes les températures et pressions comprises entre les limites des expériences, c'est-à-dire jusqu'à 230°.

Comme le volume de 1 kilogramme d'eau est sensiblement le même à toute température et égal à $0^{\text{m.c.}},001$, on a, en désignant par v le volume de 1 kilogramme de vapeur,

$$v = u + 0,001$$

et comme $\gamma = \frac{1}{v}$, on peut de la valeur de u déduire celle de γ.

On constate ainsi des différences sensibles avec les nombres donnés par la formule (**667**).

Voici d'après M. Zeuner les résultats de la comparaison de l'ancienne formule et de celle de M. Clausius.

Pression de la vapeur saturée en atmosphères.	Poids du mètre cube en kilogr.	Densité de la vapeur par rapport à l'air.	Poids du mètre cube en kilogr.
	Formule de Clausius.		Ancienne formule.
0,1	0,0687	0,621	0,0688
0,5	0,3153	0,633	0,3098
1	0,6059	0,640	0,5892
2	1,1631	0,648	1,1164
5	2,7500	0,662	2,5841
10	5,2703	0,676	4,8479

Des expérience faites par Fairbairn et Tate, et par M. Hirn ont confirmé l'exactitude de la formule de M. Clausius.

M. Zeuner a trouvé de son côté que, dans les limites de 0 à 14^{at}, on pouvait en représenter les résultats par la formule plus simple

$$\gamma = mp^n$$

dans laquelle : $m = 0,6061$ p = pression en atmosphères
$n = 0,9393$

et il a constaté qu'il existait un accord très satisfaisant entre les résultats de cette formule et de celle de M. Clausius.

670. Vapeur surchauffée. — Tant que la vapeur est en contact avec le liquide qui l'a formée, elle est dite *saturée*, et, comme nous l'avons vu (**659**), il existe une relation directe entre sa température et sa pression.

Si on chauffe la vapeur séparée du liquide, elle est dite *surchauffée*, et tend alors à se comporter comme un gaz. Sa température dépend à la fois de sa pression et de son volume. On observe que la relation qui unit ces trois quantités se rapproche d'autant plus des lois de Mariotte et de Gay-Lussac que la vapeur est plus surchauffée, c'est-à-dire que sa température est plus éloignée de celle qui correspond à la saturation.

On doit à M. Cahours des expériences sur ce sujet. En opérant par la méthode de M. Dumas, à la pression constante d'une atmosphère, il a trouvé pour la densité de la vapeur les résultats consignés dans le tableau suivant :

Températures.	Densités.
250°	0,6182
200	0,6192
150	0,6198
130	0,621
120	0,625
110	0,640
107	0,645

On voit qu'au-dessus d'une température de 120° à la pression atmosphérique, la densité s'éloigne assez peu de 0,622, qui est celle trouvée par Gay-Lussac.

En opérant entre 30° et 56°, à des pressions de plus en plus éloignées du point de saturation, M. Regnault a trouvé les nombres suivants.

Les valeurs de f sont les pressions observées pour la vapeur d'eau en expérience; celles de F sont les pressions de saturation à la température correspondante d'observation.

Températures en degrés centigrades. t	Pression observée en millimètres de mercure. f	Pression de saturation en millimètres de mercure. F	Densité de la vapeur par rapport à l'air. d
30,82	32,14	32,14	0,64693
31,23	32,66	33,86	0,63849
31,54	33,24	34,46	0,62786
37,05	34,19	46,82	0,62140
41,51	34,65	59,51	0,62195
41,88	34,61	60,68	0,62333
45,78	35,22	74,33	0,62003
48,38	35,48	84,84	0,62046
55,41	36,23	119,84	0,62078

671. Chaleur spécifique de la vapeur surchauffée. — La chaleur spécifique de la vapeur surchauffée, d'abord étudiée par Delaroche et Bérard qui avaient obtenu pour sa valeur 0,846, a fait l'objet de plusieurs séries d'expériences de M. Regnault, qui a donné comme résultat moyen de ses recherches

$$c = 0,4805$$

c'est le chiffre adopté.

§ II

CLASSIFICATION.

672. Les chaudières à vapeur ont emprunté, depuis leur origine, les formes et les dispositions les plus variées, suivant les exigences spéciales auxquelles elles ont dû satisfaire.

Cependant toute chaudière se compose en général des éléments suivants :

1° Un appareil vaporisateur, rempli d'eau jusqu'à un certain niveau et dont la partie libre sert de réservoir de vapeur ;

2° Un foyer où s'effectue la combustion (1) ;

3° Des carneaux plus ou moins longs et contournés dans lesquels les gaz chauds circulent au contact de l'appareil vaporisateur avant d'être rejetés à l'extérieur.

4° Des appareils réglementaires (2) dont l'emploi est rigoureusement obligatoire, et qui comprennent : *Deux soupapes de sûreté* au minimum, disposées chacune pour livrer passage à la vapeur dès que la pression atteint une limite qu'elle ne doit dépasser dans aucun cas ; *un manomètre* faisant connaître la pression à l'intérieur de la chaudière ; *deux indicateurs* de niveau d'eau, dont l'un au moins, doit être un tube de verre ; *un clapet de retenue* placé à l'insertion du tuyau d'alimentation sur la chaudière ; *un robinet d'arrêt de vapeur ;* et enfin, lorsque plusieurs chaudières d'une importance déterminée sont groupées en batterie, *un clapet automatique d'arrêt de vapeur* disposé sur chacun des groupes, pour éviter en cas d'explosion le déversement de la vapeur provenant des séries de chaudières restées intactes.

5° En outre les chaudières sont souvent pourvues de réchauffeurs destinés à élever la température de l'eau d'alimentation, en empruntant aux gaz de la combustion une partie de la chaleur qu'ils emportent à la cheminée. Nous étudierons ces réchauffeurs en même temps que les chaudières dont ils font ordinairement partie. Nous décrirons seulement dans un para-

(1) Voir chapitre IV, Ire partie.
(2) Voir plus loin le paragraphe IX relatif aux appareils de sûreté.

graphe spécial les réchauffeurs multitubulaires ou *economisers*.

Un réchauffeur de ce genre est, en général, installé dans une chambre spéciale disposée sur le parcours du carneau de fumée et reçoit l'eau destinée à l'alimentation d'un ou de plusieurs générateurs.

673. On peut classer les générateurs de bien des façons différentes, selon le point de vue auquel on se place ; c'est ainsi qu'on peut les distinguer suivant que leur foyer est extérieur ou intérieur au corps vaporisateur, ou bien qu'ils sont employés à bord des navires ou sur la terre ferme, etc.

Nous avons préféré prendre comme terme de comparaison le rapport de la surface de chauffe de la chaudière à son volume d'eau, c'est-à-dire la surface de chauffe par mètre cube d'eau. Ce chiffre peut être considéré comme un coefficient donnant *a priori* une indication approximative du degré de sécurité relatif que peuvent présenter les divers systèmes de chaudières.

Nous avons ainsi été amenés à former trois groupes :

1° Les chaudières à grand volume, généralement composées de corps cylindriques dont le diamètre descend rarement au-dessous de $0^m,40$. Leur surface de chauffe est, en moyenne, de 5 à 6 mètres carrés par mètre cube d'eau.

Les appareils de ce groupe sont d'une construction simple et d'une conduite facile, mais par contre ils sont encombrants.

2° Les chaudières à moyen volume dites tubulaires, dans lesquelles les gaz du foyer circulent, au moins en partie, dans des tubes de faible diamètre ($0^m,05$ à $0^m,10$ en général) entourés d'eau. La surface de chauffe par mètre cube d'eau est d'ordinaire comprise entre 15 et 25 mètres carrés.

Cette catégorie comprend la plupart des chaudières de locomotives, de locomobiles et de bateaux ainsi qu'un assez grand nombre de générateurs fixes.

3° Enfin les chaudières à petit volume et à vaporisation rapide, dans lesquelles on s'est attaché à réduire au minimum le volume d'eau à chauffer. La surface de chauffe, par mètre cube d'eau, atteint souvent 50 mètres carrés et prend même une importance beaucoup plus considérable dans certains générateurs spéciaux.

Ce type comprend les chaudières dans lesquelles la circulation des gaz se fait autour de tubes ayant habituellement de $0^m,10$ à $0^m,15$ de diamètre et dans lesquels circule l'eau à vaporiser.

Nous allons indiquer autant que possible les principaux systèmes de générateurs en usage dans l'industrie. Les dispositions différentes de chaudières qu'on rencontre, peuvent toujours se rattacher aux types décrits. Elles résultent généralement du groupement de diverses parties qui, prises séparément, se retrouvent dans des appareils connus.

§ III

CHAUDIÈRES A GRAND VOLUME.

674. Les chaudières de ce groupe peuvent être divisées en deux classes, suivant que le foyer se trouve à l'extérieur de la masse d'eau à vaporiser, ou bien qu'au contraire il est situé à l'intérieur.

Dans la première classe le chauffage s'effectue presque exclusivement à l'extérieur des corps cylindriques dont l'ensemble constitue la chaudière. C'est le cas des divers systèmes de générateurs à bouilleurs et à réchauffeurs.

Dans les appareils de la deuxième classe le foyer étant intérieur, les gaz de la combustion circulent, au moins en partie, dans des conduits en métal de grandes dimensions, entourés par l'eau à chauffer. Les chaudières de Cornwall et leurs analogues rentrent dans ce type.

CHAUDIÈRES A FOYER EXTÉRIEUR.

Les chaudières de cette catégorie peuvent se ramener à trois types principaux :

1° Chaudières à un seul corps; ce sont les plus simples et les plus anciennes;

2° Chaudières à bouilleurs, composées de plusieurs cylindres reliés entre eux et au contact desquels circulent les gaz chauds;

3° Chaudières à réchauffeurs, dans lesquels l'eau d'alimentation est chauffée progressivement avant d'entrer dans le corps principal.

CHAUDIÈRES A UN SEUL CORPS.

675. Les chaudières construites en Angleterre, à l'époque des premières applications de la machine à vapeur, se composaient d'une grande bassine cylindrique à fond concave, surmontée d'une coupole hémisphérique. Elles étaient placées dans un fourneau en briques et de forme carrée ; le fond directement au-dessus de la grille du foyer et la coupole à l'extérieur de la maçonnerie.

Le chauffage s'effectuait exclusivement, ou à peu près, par le rayonnement du combustible incandescent. Les gaz chauds se rendant directement à la cheminée, les pertes de chaleur étaient très considérables.

Si l'on conserve la coupole hémisphérique, on ne peut augmenter la surface de chauffe qu'en donnant à la chaudière un volume qui devient bientôt exagéré. Pour obvier à cet inconvénient, Watt et Boulton imaginèrent une disposition de chaudière cylindrique, que sa forme fit désigner sous le nom de « *chaudière en tombeau* » en France, et sous celui de « *waggon-boiler* » en Angleterre.

La chaudière de Watt et Boulton (fig. 363) consistait en un cylindre en tôle, dont la directrice curviligne était formée de trois courbes concaves raccordées entre elles par le bas et surmontées d'une demi-circonférence. Le cylindre était fermé à ses extrémités par des fonds plats.

Fig. 363.

Le foyer était placé à une extrémité du fourneau, au-dessous du corps cylindrique. Les produits de la combustion circulaient d'abord sous la paroi concave inférieure, revenaient à l'avant du fourneau, par un carneau latéral, passaient de l'autre côté de la

chaudière, et, de là, par un second carneau placé symétriquement au premier, ils se rendaient à la cheminée construite à l'arrière du fourneau. Un registre établi dans la conduite reliant le fourneau à la cheminée servait à régler le tirage.

Toutes les surfaces exposées au rayonnement du foyer ainsi qu'au contact des gaz chauds affectaient une forme concave, dans l'idée que cette courbure était favorable à l'absorption de la chaleur.

676. Pendant très longtemps cette chaudière fut employée, d'une manière à peu près exclusive, en France et en Angleterre. Mais ses parois, planes ou concaves, sont trop facilement déformables et résistent difficilement à de fortes pressions. L'usage de la vapeur à haute tension se répandant de plus en plus, on essaya d'abord, pour utiliser les appareils existants, de les munir de tirants transversaux et longitudinaux; mais ce mode d'armature fut insuffisant, des fuites d'eau et de vapeur se produisirent fréquemment.

On fut obligé de renoncer à ces générateurs et on en arriva, par la force des choses, à faire usage de cylindres à section circulaire, indéformables sous l'action d'une pression intérieure.

Les chaudières de ce nouveau type étaient d'abord munies de fonds hémisphériques, c'est-à-dire de la forme la plus favorable à la résistance. Mais ces fonds, composés d'une série de pièces de tôle embouties et rivées, étaient d'une construction délicate; on les fait actuellement d'une seule tôle, également emboutie, dont la section suivant l'axe de la chaudière, est une anse de panier.

Le foyer est placé à une extrémité du fourneau et les gaz circulent comme dans la chaudière de Watt : d'abord sous une portion de la surface inférieure, puis dans un carneau latéral, et enfin, pour se rendre à la cheminée, dans un second carneau parallèle au premier, de l'autre côté du corps cylindrique.

Les chaudières à un seul cylindre n'ont pour surface de chauffe que la moitié environ de la surface totale, de sorte que, pour de grandes puissances, ces appareils sont lourds et par suite leur prix est élevé; de plus ils sont très encombrants, aussi a-t-on

été conduit à chercher d'autres dispositions plus commodes et plus économiques.

CHAUDIÈRES A BOUILLEURS.

677. La chaudière ordinaire à bouilleurs (fig. 364-365) se compose de trois cylindres parallèles. Le plus grand, qui forme le corps principal de la chaudière, est placé au-dessus des deux autres appelés *bouilleurs* et dont le diamètre est environ moitié de celui du premier. Les deux bouilleurs ont leurs axes dans un même plan horizontal ; ils sont réunis au corps de

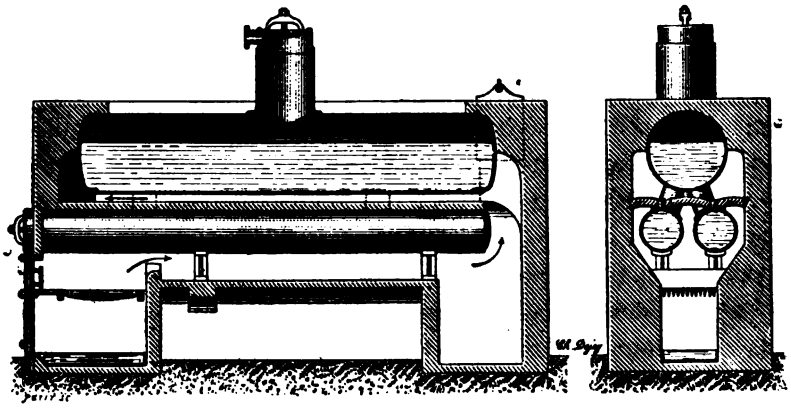


Fig. 364. Fig. 365.

chaudière par de larges tubulures appelées *cuissards*, qui mettent les trois cylindres en communication. La vapeur formée dans les bouilleurs peut ainsi se dégager et être remplacée par de l'eau venant du corps principal de la chaudière.

Le foyer extérieur dont nous avons donné les détails (n° **244**) est placé à une extrémité du fourneau sous les bouilleurs, dont une partie reçoit le rayonnement direct du combustible en ignition. Les gaz de la combustion, après avoir franchi l'autel, circulent autour de toute la partie arrière des bouilleurs, au contact de la totalité ou de la presque totalité de leur surface ; ils reviennent vers l'avant, par un carneau latéral, en chauffant un quart environ du grand cylindre supérieur, passent de l'autre côté du fourneau et se rendent à la cheminée par un second car-

neau latéral en chauffant le deuxième quart inférieur du corps cylindrique principal. La circulation générale des gaz est la même que dans la chaudière de Watt et Boulton.

La maçonnerie des carneaux latéraux vient se bloquer sur le corps cylindrique de la chaudière, à peu près à la hauteur du diamètre horizontal, de sorte que le demi-cylindre supérieur n'est pas en contact avec les gaz et n'est pas utilisé comme surface de chauffe. Ce mode de construction est imposé par l'obligation de laisser à l'abri du chauffage des gaz de la combustion toute paroi métallique dont l'une des faces n'est pas au contact de l'eau. Si on ne prenait pas cette précaution, la vapeur pourrait se surchauffer, la tôle se brûler, et il se produirait des accidents sur lesquels nous reviendrons plus loin. D'après les règlements administratifs [1], il faut laisser une distance verticale de $0^m,06$ au moins entre la partie supérieure des carneaux et le niveau minimum de l'eau dans le générateur.

Si le diamètre des bouilleurs est moitié de celui du corps cylindrique (on s'écarte en général assez peu de ce rapport) on reconnaît facilement que la surface en contact avec les gaz et qui constitue la surface de chauffe est environ les trois quarts de la surface totale de la paroi métallique de la chaudière. En se reportant à ce qui a été dit de la chaudière formée d'un simple tube cylindrique, qui n'utilise comme surface de chauffe que la moitié de la surface totale, on voit que la disposition avec bouilleurs est plus avantageuse.

En effet, à égalité de diamètre et de longueur du corps cylindrique et pour la même surface de chauffe, les chaudières à un seul cylindre occupent sur le sol, en projection horizontale, une surface triple de celle des chaudières à deux bouilleurs. Il y a donc avantage à employer ces dernières qui permettent de diminuer l'encombrement, les dimensions du fourneau et les frais généraux d'installation. Aussi, du moins pour des appareils d'une certaine importance, ne fait-on jamais usage de générateurs à un seul cylindre.

678. Le fourneau en maçonnerie dans lequel on établit

[1] Voir § XII.

les foyers et les carneaux doit être étudié de manière à assurer, le mieux possible, le contact des gaz avec la surface de chauffe et réduire les pertes de chaleur. On doit le constituer d'après les principes généraux que nous avons développés (nos 403 et suiv.).

Les deux carneaux supérieurs qui longent le corps cylindrique de la chaudière sont séparés du carneau inférieur contenant les bouilleurs par une voûte en briques qu'on peut disposer de diverses manières.

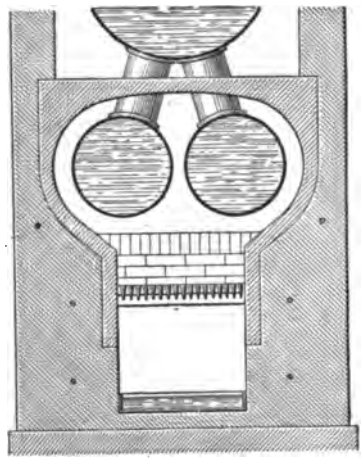


Fig. 366.

Assez souvent, on construit, comme le montre la figure 366, une voûte unique s'appuyant sur les deux murs latéraux du fourneau. Cette voûte doit être peu cintrée et s'écarter assez peu des parois métalliques, sans quoi, une partie notable des gaz chauds circuleraient dans la section libre sans venir au contact des bouilleurs et sans les chauffer d'une manière suffisante.

Une disposition assez fréquemment employée est représentée figure 365. Elle consiste en trois petites voûtes portées par les murs latéraux du fourneau et deux murettes de retombée reposant sur la partie supérieure de chaque bouilleur. Ces murettes, de $0^{m},11$ d'épaisseur seulement, ne couvrent qu'une faible partie du métal, de sorte que la surface des bouilleurs est presque totalement utilisée pour le chauffage.

La largeur des carneaux doit être réduite au minimum pour forcer, autant que possible, les gaz chauds à venir au contact de la surface de chauffe. On se contente souvent de laisser des intervalles de 0,08 à 0,10 entre les corps cylindriques et la maçonnerie. Il conviendrait cependant de laisser un peu plus, afin de pouvoir vérifier, de temps en temps, l'état des tôles sans trop de difficultés.

Quelquefois, pour la simplicité de la construction, on se

borne (fig. 253) à faire la séparation entre les carneaux par une sorte de plancher formé de briques appuyées sur les murs latéraux et sur les corps cylindriques un peu au-dessus du diamètre horizontal de ces derniers. Près de la moitié de chaque bouilleur se trouve ainsi dans le bas des carneaux supérieurs, alors que les gaz les plus chauds circulent toujours dans le haut des conduits; en outre, la partie supérieure des bouilleurs se recouvre de cendres. Pour ces deux causes, la transmission de la chaleur est beaucoup diminuée; c'est une disposition qu'il convient d'éviter.

La murette qui sépare les carneaux supérieurs longeant le corps cylindrique de la chaudière se construit le plus souvent dans l'axe du fourneau. On la rejette cependant quelquefois dans l'axe d'un des cuissards, ce qui a l'avantage de faciliter la circulation des gaz sous la chaudière, si l'on a soin de faire passer dans le carneau le plus large les gaz se dirigeant vers l'avant, c'est-à-dire ceux qui sont les plus chauds et dont le volume est le plus considérable.

Certains constructeurs placent la chaudière et les bouilleurs dans une chambre unique, relativement vaste, dont les parois latérales montent jusqu'au milieu du corps cylindrique. Les gaz qui s'échappent du foyer se répandent librement dans cette enceinte et se rendent directement à la cheminée. Leur contact avec les différentes parties du générateur est beaucoup moins bien assuré que dans les dispositions précédentes.

Quand on est conduit à recourir à ce procédé peu favorable à la transmission de la chaleur, il faut avoir soin d'établir, conformément aux principes exposés dans le premier volume (n° **402**), l'ouverture de départ des gaz à la partie inférieure des carneaux; malgré cette précaution, il arrive presque toujours que les gaz chauds de la combustion se rendent trop directement du foyer à l'orifice de sortie et que leur refroidissement est très incomplet. Aussi préfère-t-on généralement construire le fourneau avec trois circulations.

679. Nous avons vu que les bouilleurs étaient réunis à la chaudière par de larges tubulures nommées *cuissards*. C'est par ces communications que la vapeur formée dans les bouilleurs se

rend dans le corps principal et, qu'à l'inverse, l'eau de celui-ci pénètre dans les bouilleurs pour remplacer la vapeur dégagée. Il est d'une grande importance que cette double circulation puisse se faire très librement. Si la vapeur était gênée dans son dégagement, ou si l'eau ne venait pas la remplacer facilement, certaines parties du bouilleur se trouvant en contact d'un côté avec la vapeur et de l'autre avec la flamme, risqueraient fort d'être brûlées.

En général on met deux cuissards pour chaque bouilleur; l'un est placé au-dessus du foyer à l'endroit où la vapeur se produit en plus grande abondance, le second, qui sert au passage de l'eau venant de la chaudière, est ordinairement rejeté vers l'autre extrémité, afin d'établir, autant que possible, une circulation générale dans toute la masse. Toutefois, il y a des inconvénients à ce que les cuissards soient trop éloignés l'un de l'autre. En effet, par suite de la différence de dilatation des bouilleurs et du corps cylindrique inégalement chauffés, il se produit aux attaches des cuissards des mouvements qui fatiguent les rivures et amènent des fuites. On préfère souvent, pour ce motif, rapprocher les cuissards et les mettre sur une même virole du bouilleur.

Quand les chaudières sont très longues, pour assurer la rentrée de l'eau à l'extrémité des bouilleurs, on a quelquefois établi à l'arrière, entre leurs fonds et celui du corps cylindrique, une communication de grande section, constituée par un tuyau en cuivre de forme cintrée, qui peut subir sans inconvénient une certaine déformation.

Il convient de ne pas donner aux bouilleurs un diamètre inférieur à $0^{m},50$, afin qu'un ouvrier puisse pénétrer dans leur intérieur sans trop de difficulté pour opérer la visite, le nettoyage et faire au besoin les réparations nécessaires.

Les bouilleurs, exposés à la radiation intense du foyer, sont plus sujets à la destruction que le corps cylindrique, et on est assez souvent obligé de les remplacer ou tout au moins de changer la tôle de *coup de feu*. A cause de la grande longueur des bouilleurs, ce travail n'est pas sans présenter quelques difficultés; pour le rendre plus commode, on a fait usage, en Alsace

surtout, de bouilleurs de quelques mètres seulement de longueur. Cette disposition réduit considérablement la surface de chauffe.

On a remédié à cet inconvénient en mettant sur la longueur de la chaudière deux bouilleurs dans le prolongement l'un de l'autre, mais indépendants, de manière à ce qu'on puisse les enlever séparément. Il faut alors réserver, à chaque tête, des autoclaves pour la visite, ce qui n'est pas toujours facile quand l'arrière du générateur n'est pas abordable.

680. Quand on n'a besoin que d'une surface de chauffe relativement faible, il vaut mieux ne mettre qu'un bouilleur au lieu de deux et donner plus de longueur à la chaudière afin que les gaz restent assez longtemps en contact avec les parois avant d'atteindre la cheminée.

Si, au contraire, il faut produire de très grandes quantités de vapeur, on peut faire des chaudières à trois bouilleurs. La circulation des gaz se fait en général comme dans les chaudières à deux bouilleurs ou, parfois, simultanément au contact des bouilleurs et du corps principal (fig. 367), lorsque la chaudière est complétée par des réchauffeurs.

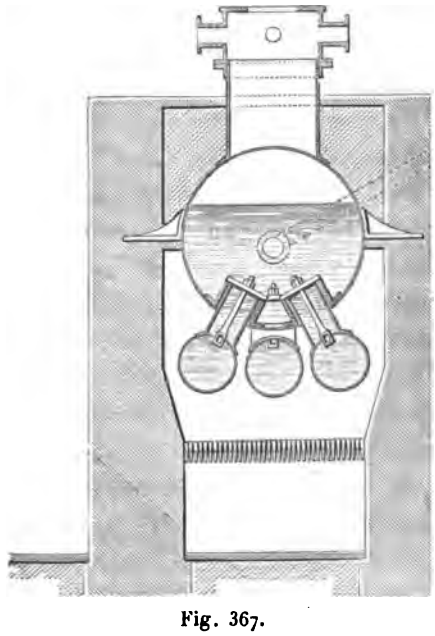


Fig. 367.

Les chaudières le plus fréquemment employées en Alsace sont à trois bouilleurs. Ceux-ci traversent généralement le fourneau de part en part et sont alors pourvus d'un autoclave à chaque extrémité, ce qui permet d'accéder plus facilement à l'intérieur.

Toutefois les bouilleurs dont la longueur ne dépasse pas cinq mètres n'ont qu'une ouverture.

Voici, d'après M. Walther-Meunier, l'ingénieur en chef de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur, les dimensions les plus usuelles des diverses parties constituant les chaudières d'Alsace.

Le corps cylindrique principal a d'ordinaire $1^m,20$ de diamètre, sa longueur varie de 10 à 8 mètres et quelquefois même descend à 7 mètres.

Les bouilleurs ont généralement $0^m,60$ de diamètre et leur longueur est comprise entre 11 et 8 mètres. Elle est habituellement supérieure de 1 à 2 mètres à celle du corps principal. Autrefois on employait, dans certains cas, trois bouilleurs de $0^m,42$ de diamètre; quand ils sont hors d'usage, on les remplace aujourd'hui par deux de $0^m,60$, ce qui ne change pas la surface de chauffe, mais facilite les nettoyages et les réparations.

Lorsque l'on construit des chaudières de plus petites dimensions, on donne un diamètre de $1^m,15$ au corps principal et de $0^m,50$ à chacun des trois bouilleurs.

681. Afin d'augmenter la surface de chauffe sans accroître l'espace occupé, on a quelquefois disposé dans le corps principal du générateur un tube cylindrique rivé sur les deux fonds. Le parcours des gaz chauds est alors quelque peu modifié. Après avoir circulé autour des bouilleurs, ils viennent à l'avant par le tube intérieur et retournent à l'arrière en passant à la fois par les deux carneaux latéraux. Ou bien, au contraire, on fait arriver les gaz à l'avant simultanément par les deux carneaux latéraux et ils se rendent à la cheminée par le tube intérieur. L'adjonction de ce tube a l'inconvénient de gêner l'enlèvement des incrustations.

On remplace parfois le tube intérieur par un faisceau tubulaire présentant une plus grande surface de chauffe. Les gaz suivent le même parcours que dans le cas précédent; mais, en traversant les tubes, ils abandonnent une plus grande partie de la chaleur qu'ils renfermaient encore.

Nous donnerons un exemple de ce générateur lorsque nous étudierons les chaudières tubulaires.

CALCUL DES DIMENSIONS D'UNE CHAUDIÈRE A BOUILLEURS.

682. Les dimensions d'une chaudière se déterminent d'après la quantité de vapeur qu'il est nécessaire de pouvoir lui faire produire par heure; c'est la donnée principale. Connaissant le service que la chaudière doit faire, c'est-à-dire la puissance de la machine qu'elle doit alimenter ou bien le nombre et la nature des appareils qu'il s'agit de chauffer, on peut facilement savoir quel poids d'eau on doit vaporiser en une heure.

Nous avons vu (n° **392**), en parlant d'une manière générale des récepteurs de chaleur, que le poids de vapeur produit par mètre carré de surface de chauffe allait rapidement en diminuant à mesure qu'on s'éloignait du foyer, et que, à partir d'une certaine limite, le rendement total augmentait peu avec l'accroissement de surface et pouvait même diminuer.

Pour utiliser convenablement la chaleur sans exagérer les dimensions des chaudières et les dépenses d'installation, les tables du n° (**391**) montrent qu'il convient de limiter la surface de chauffe de telle sorte que la production moyenne de vapeur par mètre carré soit de 12 à 18 kilogrammes par heure. En prenant comme production 15 kilogrammes, on trouve immédiatement la surface de chauffe S nécessaire à la production du poids de vapeur, par l'équation

$$S = \frac{W}{15}.$$

La surface de chauffe d'une chaudière à bouilleurs s'obtient, en mètres carrés, en divisant par 15 le nombre W de kilogr. de vapeur à produire par heure. La production de 15 kilogr. de vapeur correspond en nombre rond à la transmission de 10,000 calories par mètre carré et par heure.

Si, au lieu de prendre 15 kilogr. comme production moyenne, on avait pris seulement 12 kilogr., le tableau montre que le rendement se serait élevé seulement de 0,622 à 0,631; et il aurait fallu, pour ce léger accroissement, augmenter la surface de

chauffe et par suite la dépense, à peu près dans le rapport de 15 à 12, soit de 25 p. 100.

Si, au contraire, on avait pris 18 kilogr. de vapeur comme production moyenne par mètre carré, le rendement aurait diminué de 0,622 à 0,603 et la dépense de premier établissement se serait réduite d'environ 25 p. 100.

683. La surface de chauffe S étant ainsi déterminée, il faut en déduire les dimensions du corps cylindrique et des bouilleurs. On conçoit, *a priori*, que le problème est indéterminé et qu'on peut trouver une infinité de diamètres et de longueurs de cylindres satisfaisant à la condition d'avoir une surface totale de chauffe donnée, mais les conditions pratiques réduisent considérablement le nombre des solutions.

Désignons d'une manière générale par d et l le diamètre et la longueur de chaque bouilleur, par D et L le diamètre et la longueur du corps cylindrique.

La surface de chauffe se compose à peu près de la surface totale des bouilleurs et de la moitié de la surface du corps cylindrique. On trouve, en négligeant les fonds, pour l'expression de la surface de chauffe

$$S = 2\pi dl + \frac{\pi DL}{2}.$$

Pour la meilleure utilisation de l'espace en longueur et en largeur, il convient que la longueur des bouilleurs soit à peu près égale à celle du corps cylindrique et que leur diamètre soit à peu près la moitié, les deux bouilleurs se plaçant alors facilement au-dessous du corps cylindrique, entre les deux murs latéraux.

Si on pose en conséquence $l = L$ et $2d = D$ il vient

$$S = \frac{3}{2}\pi DL = 4{,}71\,DL.$$

Le diamètre du corps cylindrique s'écarte en général assez peu de 1 mètre ; c'est le double du diamètre minimum des bouilleurs. Avec un diamètre plus faible, on ne trouverait pas l'espace suffisant pour une chambre de vapeur de dimensions convenables.

D'un autre côté comme l'épaisseur des tôles, et, par suite, le poids et le prix augmentent avec le diamètre, il y a intérêt à ne pas exagérer ce dernier, qui en pratique est limité à $1^m,25$ ou $1^m,30$.

Si comme première donnée on prend $D=1$, on a

$$L=\frac{S}{4,71},$$

c'est-à-dire qu'en divisant la surface de chauffe par 4,71 on obtient la longueur de la chaudière. Cette dimension ne doit guère dépasser 10 mètres, bien qu'on construise quelquefois des générateurs de 12 à 15 mètres de long, mais ceux-ci sont très encombrants. Si le calcul donne un chiffre supérieur à 10 mètres, on peut, s'il n'y a qu'un léger excès, réduire la longueur en augmentant le diamètre; lorsque cet excès est très considérable, il faut prendre plusieurs chaudières.

Une chaudière de 1 mètre de diamètre et de 10 mètres de long, avec deux bouilleurs de $0^m,50$ de diamètre, a une surface de chauffe de 47,10 mètres carrés. En augmentant le diamètre, on peut arriver jusqu'à 60 et même 65 mètres carrés, ce qui est presque un maximum.

684. Faisons quelques applications. Supposons d'abord qu'on ait à établir une chaudière à vapeur capable de produire 500 kilogr. de vapeur à l'heure;

$$W=500.$$

En admettant une production moyenne de 15 kilogr. par mètre carré, on trouve pour la surface de chauffe

$$S=\frac{500}{15}=33,33^{mq}$$

et pour longueur, avec un diamètre de 1 mètre

$$L=\frac{33,33}{4,71}=7^m,07.$$

Ainsi on aurait la surface demandée, en prenant une chaudière de 1 mètre de diamètre et de $7^m,07$ de long, et deux bouilleurs de même longueur et de $0^m,50$ de diamètre.

Considérons maintenant le cas d'une grande quantité de vapeur à produire, soit $W = 3,000$, on trouve

$$S = \frac{3\,000}{15} = 200^{mq}$$

et

$$L = \frac{200}{4,71} = 42,50.$$

C'est une longueur impossible à réaliser; mais comme elle ne dépasse pas beaucoup quatre fois la longueur maximum de 10 mètres, cela indique qu'il faut prendre quatre chaudières ayant chacune une surface de chauffe égale

$$\frac{200}{4} = 50^{mq}.$$

En conservant le diamètre de 1 mètre au corps cylindrique, la longueur devrait être de

$$\frac{42,50}{4} = 10^{m},60.$$

Si on veut réduire cette longueur, on peut prendre $D = 1,20$ et $d = 0,60$, ce qui, d'après la relation $S = 4,71DL$, conduit à $L = 8^{m},80$.

Ces exemples suffisent pour faire voir la marche à suivre dans un cas particulier quelconque.

Les calculs des dimensions de chaudières à trois bouilleurs ou à un seul bouilleur se feront d'une manière analogue.

CHAUDIÈRES A RÉCHAUFFEURS.

685. Dans les chaudières simples à bouilleurs, la température de l'eau est, à très peu près, la même dans toutes les parties, par suite de la circulation active qui s'établit, et du mélange de toute la masse qui en résulte. A la pression de 4 à 5 kilogr. effectifs, la température de l'eau est de 150 à 160° environ, et les gaz de la combustion en quittant les parois de la chaudière sont

insuffisamment refroidis. En fait, dans une chaudière à bouilleurs, les gaz s'échappent rarement au-dessous de 250° et le plus souvent au-dessus. Un refroidissement plus complet des gaz ne pourrait être réalisé que par un accroissement considérable de la surface de chauffe, ce qui augmenterait en proportion les dépenses d'installation.

On obtient un plus grand refroidissement en appliquant le chauffage méthodique dont nous avons fait ressortir les avantages (**130**). Les nombres du tableau et la courbe (**395**) font voir que, par un chauffage méthodique, on peut abaisser la température des gaz à 160° et porter le rendement à 0,66, avec une surface de chauffe égale à 38,14 fois celle de la grille, tandis que, sans chauffage méthodique, une surface de 50 fois la grille refroidirait seulement les gaz à 180° et porterait le rendement à 0,632 (**391**).

686. Ces résultats avantageux du chauffage méthodique sont réalisés pratiquement pour les chaudières à vapeur au moyen de la disposition dite à *réchauffeurs*.

Le principe de ce système est de faire circuler en sens inverse, au contact d'une portion de la surface de chauffe, l'eau d'alimentation et les gaz de la combustion. La disposition la plus simple consiste à placer dans le carneau qui conduit les gaz à la cheminée un appareil de chauffe composé d'un ou de plusieurs tubes par lesquels on fait arriver l'eau froide d'alimentation en sens inverse du courant des gaz (**413**). Une portion de la chaleur de ces derniers est ainsi utilisée à chauffer cette eau avant son introduction dans la chaudière. Nous allons indiquer quelques-unes des dispositions ordinairement employées.

687. La chaudière à réchauffeurs de M. Farcot (voir 1re partie, fig. 254, 255) du type primitif se compose d'un corps cylindrique placé directement au-dessus du foyer et de quatre tubes réchauffeurs disposés les uns au-dessus des autres, dans une chambre latérale divisée en quatre carneaux superposés. Les gaz de la combustion, après avoir chauffé la chaudière, circulent dans le carneau supérieur au contact du premier tube, de l'arrière à l'avant du fourneau. Ils plongent à l'avant dans

le deuxième carneau qu'ils parcourent en chauffant le deuxième tube sur toute sa longueur, descendent dans le troisième carneau, puis dans le quatrième qu'ils suivent successivement en sens inverse. Un conduit partant du point le plus bas les amène ensuite jusqu'à la cheminée.

L'eau d'alimentation arrive dans le réchauffeur inférieur, au point où les gaz le quittent; elle circule dans toute sa longueur en sens contraire de la fumée, monte dans le corps supérieur par une tubulure placée du côté opposé à l'arrivée et parcourt ainsi, successivement, les quatre réchauffeurs avant de pénétrer dans le corps cylindrique. On a soin d'incliner alternativement en sens inverse les tubes réchauffeurs afin que la vapeur qui peut se former se dégage librement.

688. Les réchauffeurs de ce système, en raison du faible diamètre qu'on est obligé de leur donner, ont l'inconvénient de ne pouvoir être débarrassés facilement de leurs incrustations. De plus on a constaté que les tôles des réchauffeurs inférieurs étaient très exposées à la corrosion, notamment lorsque les gaz de la combustion se trouvaient trop refroidis. Aussi M. Farcot a-t-il été conduit à reprendre la chaudière à deux bouilleurs ordinaires, à laquelle il n'ajoute plus qu'un ou deux réchauffeurs latéraux dans l'intérieur desquels on peut pénétrer.

Dans cette nouvelle disposition, les gaz, après avoir circulé autour des bouilleurs et du corps cylindrique, parcourent successivement les deux carneaux des réchauffeurs et se rendent ensuite à la cheminée.

Une application de ce genre est représentée plus loin (fig. 396).

689. **MM. Cail et Cie**, pour réduire la hauteur du fourneau sans cesser d'obtenir un chauffage méthodique, ont transformé les deux bouilleurs ordinaires des chaudières, en réchauffeurs placés dans l'espace qui se trouve derrière le foyer et qui est ordinairement utilisé comme poche à cendres.

Les figures (368-369) montrent la disposition des deux réchauffeurs logés dans deux carneaux séparés par une murette. Les têtes de ces cylindres viennent affleurer le mur qui forme le fond

du cendrier et portent un tampon autoclave pour la visite. Les gaz après avoir chauffé la chaudière descendent dans un des carneaux, circulent autour du réchauffeur qu'il renferme, puis passent derrière le mur du cendrier dans le second carneau et,

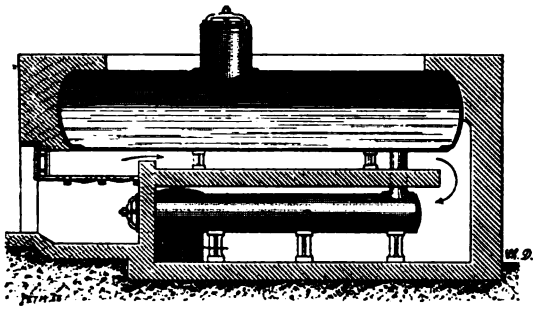


Fig. 368.

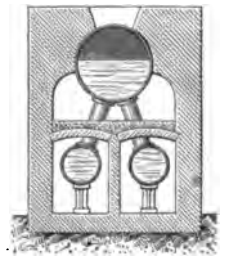


Fig. 369.

de là, se rendent à la cheminée. L'eau d'alimentation arrive simultanément dans les deux réchauffeurs et passe dans le corps cylindrique. On a quelquefois disposé les deux réchauffeurs dans un même carneau. On est alors obligé de faire au-dessous un conduit spécial pour ramener les gaz à l'arrière du fourneau et à la cheminée. Dans l'un et l'autre cas le chauffage ne s'effectue pas d'une manière absolument méthodique.

690. Quand une chaudière à bouilleurs est déjà établie, on peut augmenter son rendement, par l'addition, dans une construction séparée, d'un ou de plusieurs réchauffeurs. Cette disposition conduit parfois à modifier quelque peu la circulation des gaz de la combustion. Lorsque ce cas se présente, on supprime simplement la murette placée sous le corps cylindrique, et les gaz, après avoir passé autour des bouilleurs, comme dans la disposition ordinaire, reviennent à l'avant du fourneau simultanément des deux côtés de la chaudière. De là ils se rendent à lacheminée par le carneau latéral qui entoure le réchauffeur.

L'alimentation de l'eau se fait à l'extrémité de ce dernier, du côté de la sortie des gaz.

691. On a fait depuis longtemps, en Alsace, de nombreuses applications des chaudières à bouilleurs pourvues de réchauf-

feurs. On ajoutait à la chaudière ordinaire à trois bouilleurs, soit six réchauffeurs, placés deux à deux, dans des carneaux en maçonnerie disposés l'un au-dessus de l'autre, soit comme dans le type de Wesserling, plusieurs séries de tubes horizontaux de $0^m,10$ à $0^m,12$ de diamètre, réparties dans une chambre en briques divisée en quatre carneaux superposés au moyen de chicanes mobiles en fonte.

Ces deux dispositions de chaudières sont très encombrantes, les corps inférieurs des réchauffeurs sont exposés à la corrosion et se détruisent plus vite que le réste de la chaudière.

Aujourd'hui dès qu'un réchauffeur de l'un de ces deux types devient défectueux on le supprime et on le remplace par un appareil formé de tubes réunis en faisceaux et qu'on désigne sous le nom d'*economiser*. Nous verrons plus loin divers exemples de ces réchauffeurs tubulaires.

692. Chaudières Artige. — M. Artige s'est appliqué à réaliser le chauffage méthodique et à rendre apparentes toutes les communications qui relient entre eux les divers corps cylindriques de sa chaudière. Les cuissards ordinaires sont supprimés et remplacés par des tuyaux en fonte, ou mieux en cuivre, disposés à l'extérieur des maçonneries du fourneau.

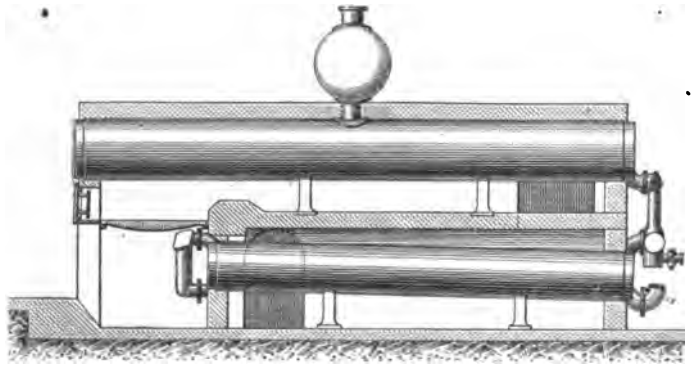


Fig. 370.

La chaudière de ce type (fig. 370-371) se compose de deux vaporisateurs placés directement au-dessus du foyer et de quatre réchauffeurs.

Deux de ces derniers sont installés au-dessous des vaporisateurs et les deux autres sont superposés et se trouvent sur le côté du fourneau.

Les gaz chauds passent d'abord au contact des vaporisateurs, et circulent ensuite successivement autour de chacun des réchauffeurs avant de se rendre à la cheminée.

L'eau de la chaudière suit le même chemin, mais en sens inverse. Le chauffage méthodique se trouve ainsi réalisé.

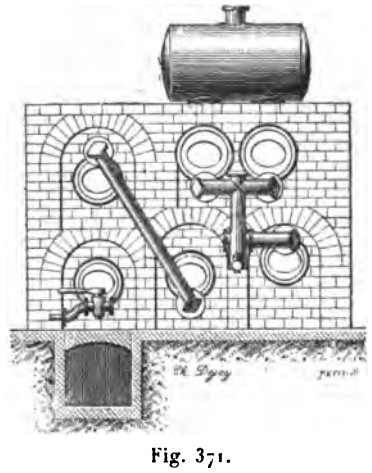


Fig. 371.

CHAUDIÈRE VERTICALE.

693. Cette chaudière, formée d'un corps cylindrique dont la longueur atteint parfois 20 mètres, s'installe généralement dans les cheminées des fours métallurgiques. Le peu de place qu'elle occupe, en plan, a été souvent le seul motif qui l'a fait choisir. Ce générateur est d'ordinaire employé pour utiliser soit la chaleur des gaz sortant à haute température des fours à puddler ou à réchauffer, soit les gaz qui s'échappent des cubilots, fours à coke, etc., et contiennent une notable quantité d'oxyde de carbone. Ces gaz sont combustibles; il suffit de les mélanger avec une quantité d'air convenable pour permettre de les brûler, et produire ainsi de la chaleur dans des conditions très économiques.

La chaudière verticale se place dans l'axe de la cheminée des fours, en laissant un vide annulaire dans lequel s'élèvent les gaz chauds. Pour régler la répartition de la chaleur, on crée des chicanes et on installe deux ou trois petites cheminées s'élevant à quelques mètres au-dessus de la chaudière. La section de ces cheminées dépend de la nature des fours; elle est, en général, de 0,01 mètre carré pour 3 à 4 kilogrammes de charbon brûlé sur les grilles ou soles de ceux-ci.

La surface de chauffe se calcule comme celle des générateurs horizontaux; elle se déduit du poids de combustible brûlé dans les fours.

Quoique la marche ascendante des gaz le long des parois verticales soit peu favorable à la transmission de la chaleur, et que l'on ne profite pas dans ces appareils du rayonnement du foyer, on constate cependant qu'ils permettent de réaliser une utilisation assez satisfaisante, mais néanmoins inférieure à celle que l'on obtient dans les chaudières horizontales chauffées directement par un foyer ordinaire. Cela tient à ce que les gaz sortant des fours sont généralement beaucoup plus chauds que ceux qui proviennent des foyers ordinaires des générateurs.

Le tuyau de prise de vapeur part du haut de la chaudière verticale, à l'intérieur de laquelle il descend à travers la chambre d'eau, jusqu'à la hauteur convenable pour se relier à la canalisation de distribution. On évite ainsi les condensations et on diminue la proportion d'eau entraînée.

Les appareils de sûreté, sauf les indicateurs de niveau, sont placés à la partie supérieure du corps cylindrique, où une galerie permet de les visiter.

Dans les chaudières verticales, la chambre d'eau ayant une grande hauteur et la surface de dégagement de la vapeur étant toujours bien moindre que dans les générateurs horizontaux, l'ébullition est, en général, tumultueuse et donne lieu à des projections d'eau, surtout lorsqu'une chute de pression vient à se produire dans le réservoir de vapeur.

Lorsqu'une chaudière est chauffée par les gaz provenant de plusieurs fours, il est utile de placer un registre sur chacun des carneaux allant de la cheminée aux fours, afin de pouvoir toujours régler la marche de ces derniers.

Les générateurs doivent être toujours pourvus d'un foyer ordinaire, afin de pouvoir fonctionner pendant l'arrêt des fours. On doit disposer ce foyer latéralement, pour qu'il ne chauffe jamais directement le fond de la chaudière; sans cette précaution, comme les incrustations se réunissent surtout à la partie inférieure, les tôles du bas du générateur risqueraient fort d'être

brûlées. De même, pendant le chauffage par les gaz des fours il faut absolument éviter tout contact direct entre la flamme et la partie inférieure de la chaudière.

A la suite d'accidents extrêmement graves, l'Administration a rendu un décret spécial que nous reproduisons plus loin (n° **916**) et qui impose de faire arriver les gaz chauds tangentiellement au corps cylindrique constituant le générateur.

Lorsque cette disposition est irréalisable, les parois verticales doivent être garanties par des murettes réfractaires d'épaisseur suffisante, isolées de la tôle par un vide de $0^m,05$, et de hauteur telle que le métal soit protégé contre l'effet destructeur des dards de flammes. Les veines fluides doivent avoir pris sensiblement une direction parallèle aux tôles voisines avant de les toucher.

Les explosions de semblables chaudières, lorsqu'elles viennent à se produire, ont toujours des conséquences véritablement désastreuses. Les plus récentes sont celles des forges de Commentry, Marnaval et Eurville. Chacune d'elles a fait de très nombreuses victimes. Les effets observés résultent non seulement de la rupture du corps de chaudière, mais encore de la projection des débris de l'enveloppe en maçonnerie. Ceux-ci en effet, lancés horizontalement, vont tomber sur le sol dans tous les sens, sur un rayon d'autant plus grand que la hauteur de la chaudière est elle-même plus considérable.

Aujourd'hui, on renonce de plus en plus aux chaudières verticales et on emploie de préférence les générateurs horizontaux. Dans certains cas, la transformation s'effectue en utilisant l'ancien corps cylindrique que l'on dispose horizontalement et auquel on ajoute deux bouilleurs neufs. Les gaz passent d'abord au contact de ceux-ci, puis circulent une ou deux fois le long des parois du cylindre principal, suivant que la chaudière est pourvue ou non de réchauffeurs.

On peut employer également, pour l'utilisation des chaleurs perdues des fours, la plupart des systèmes de chaudières dont nous nous occuperons dans les paragraphes suivants.

CHAUDIÈRES A FOYER INTÉRIEUR.

694. Les générateurs à foyer extérieur, quoique protégés par une enveloppe isolante en maçonnerie, laissent toujours perdre une certaine quantité de la chaleur dégagée par le combustible en ignition. Cette perte est en partie supprimée dans les chaudières dont le foyer est intérieur et complètement entouré par l'eau à vaporiser. On peut considérer comme type de ces appareils la chaudière de *Cornwall*, dont le nom est emprunté au pays où elle fut d'abord appliquée.

Cette chaudière (fig. 372, 373) se compose essentiellement de trois corps cylindriques disposés parallèlement; le premier, de

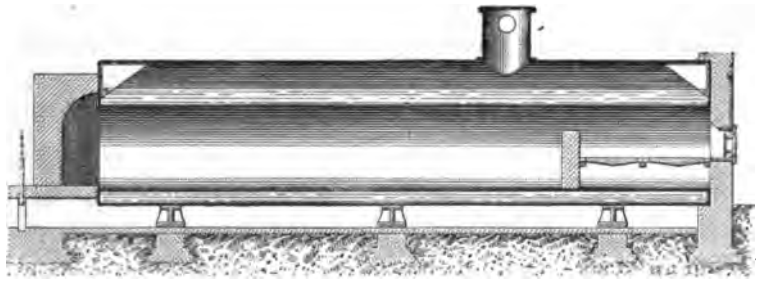


Fig. 372.

grand diamètre, enveloppe les deux autres qui sont rivés sur les fonds par leurs extrémités ouvertes.

Chacun des deux tubes intérieurs renferme un foyer dont la description a été précédemment donnée (**255**). Les gaz chauds fournis par chacun de ces foyers suivent d'abord le cylindre intérieur correspondant, pour se rendre à l'extrémité du générateur. En ce point, une murette empêche la réunion des deux courants gazeux qui reviennent simultanément vers l'avant de la chaudière par deux carneaux latéraux longeant, l'un à droite et l'autre à gauche, le corps cylindrique principal. A l'avant du fourneau les gaz se réunissent dans un conduit unique (fig. 373) réservé sous la chaudière et qui les amène à la cheminée.

Quelquefois la circulation est un peu modifiée. Arrivés à l'ex-

trémité des tubes porte-foyer, les gaz chauds se réunissent en un seul courant qui revient à l'avant du fourneau par un carneau latéral établi extérieurement le long du grand cylindre. Puis ils passent de l'autre côté par un conduit transversal et se rendent ensuite à la cheminée par un second carneau latéral symétrique du premier.

Les chaudières de Cornwall à double foyer sont des appareils généralement puissants qui présentent une grande surface de

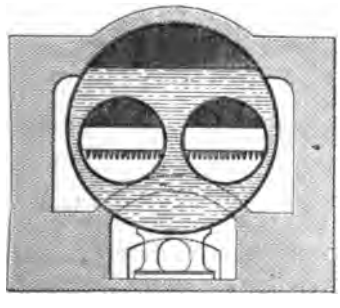


Fig. 373.

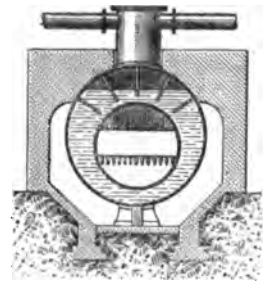


Fig. 374.

chauffe. Lorsqu'on n'a besoin que d'une puissance moyenne, on n'emploie qu'un seul foyer et un seul tube intérieur (fig. 374), tout en conservant la même disposition générale et le même mode de circulation des gaz de la combustion. Cette chaudière à un seul foyer est désignée, en Angleterre, sous le nom de *Lancashire boiler*.

Le diamètre des tubes qui renferment les foyers ne saurait descendre au-dessous de 0,60. C'est un minimum qui permet strictement de trouver la place nécessaire pour le combustible, le développement de la flamme au-dessus de la grille, et le passage pour l'accès de l'air en dessous. Quand on le peut, il convient de porter ce diamètre à 0,70 et 0,80; on atteint même quelquefois 1 mètre et davantage. On est alors conduit à donner au corps cylindrique des chaudières à deux foyers, un très grand diamètre ($2^m,50$ et au-dessus), et par suite à faire usage de tôle de très forte épaisseur.

CALCUL DES DIMENSIONS D'UNE CHAUDIÈRE A FOYER INTÉRIEUR.

695. La surface de chauffe d'une chaudière de Cornwall, à deux foyers, se compose de la surface totale des deux tubes intérieurs et des deux tiers environ de celle du cylindre extérieur; les dimensions respectives des trois tubes obligent en effet à relever le niveau de l'eau, de telle sorte que les deux tiers de la surface du grand cylindre sont utilisables pour le chauffage. La surface de chauffe est, en conséquence, exprimée par la relation :

$$S = 2\pi d L + \frac{2}{3}\pi D L,$$

d étant le diamètre de chacun des tubes intérieurs;
D le diamètre du cylindre extérieur;
L leur longueur commune.

Pour les appareils à deux foyers on a, à peu près, $D = 2,5\,d$; on en conclut

$$S = 11,50\,d L.$$

La surface de chauffe, par mètre de longueur de la chaudière, est par suite environ :

$$S = 6^{mq},90 \text{ pour } d = 0,60$$
$$S = 11\ \ ,50 \text{ pour } d = 1,00.$$

On a donc pour 8 mètres de longueur, des chaudières de $55^{mq},20$ et de 92^{mq} de surface de chauffe. On arriverait facilement, avec moins de 10 mètres de longueur, à 100^{mq} de surface de chauffe.

Pour les chaudières de Lancashire à un seul foyer, dans lesquelles $D = 2,10\,d$ environ, on a $S = 7,54\,d L$ et, par mètre de longueur,

$$S = 4^{mq},52 \text{ pour } d = 0,60$$
$$S = 7\ \ ,54 \text{ pour } d = 1,00$$

ce qui donne pour des générateurs de 8 mètres de longueur respectivement $36^{mq},16$, et $60^{mq},29$ de surface de chauffe. C'est sensiblement un tiers de moins que ce que l'on obtient à égalité de longueur avec une chaudière à deux foyers.

Pratiquement la surface de chauffe d'une chaudière type Lancashire ou Cornwall peut ainsi, suivant la longueur et les diamètres adoptés, varier de 30^{mq} à 100^{mq}.

696. La section de passage offerte aux produits de la combustion dans les tubes porte-foyer est relativement grande, de sorte que la partie centrale du courant gazeux chaud ne vient pas au contact des parois intérieures de la chaudière.

En vue d'obtenir une meilleure transmission on a disposé quelquefois après l'autel, au milieu de ces tubes, un bouilleur longitudinal relié à la chaudière par deux grosses tubulures. Cette disposition n'est pas à recommander, car il se forme constamment un dépôt de suie à la partie basse du carneau annulaire réservé entre le bouilleur et le tube intérieur et, de ce fait, une partie importante de la surface de chauffe n'est pas utilisée. En outre, le bouilleur ajouté n'ayant généralement pas un diamètre suffisant pour permettre le nettoyage des incrustations, se remplit de dépôts et se trouve rapidement mis hors d'usage. Au lieu d'employer ce procédé, il est préférable de se servir de réchauffeurs auxiliaires, tels que les economisers, par exemple, ou bien de recourir à la chaudière que nous allons décrire.

697. Chaudière Galloway. — Les modifications apportées par M. Galloway à la chaudière du type Cornwall réa-

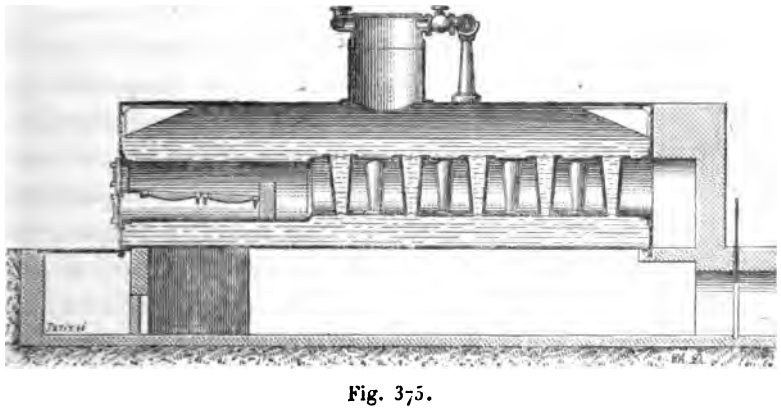


Fig. 375.

lisent une importante amélioration. Dans ce générateur (fig. 375-376) les deux tubes qui renferment les foyers se réunissent,

immédiatement après l'autel, pour former une seule chambre de combustion.

Cette chambre est traversée par des tubulures en tronc de cône rivées sur ses parois, la grande base en haut, et dans lesquelles s'établit un courant ascensionnel mettant en communication le haut et le bas de la chaudière. Ces tubulures sont disposées

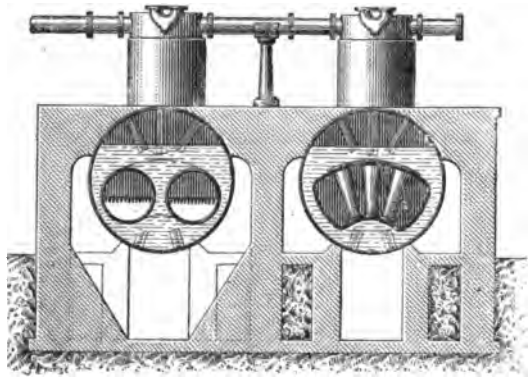


Fig. 376.

en quinconce, de manière à briser le courant des gaz de la combustion, qui est obligé de les contourner successivement et de passer dans leurs intervalles pour arriver à l'arrière du générateur. A partir de ce moment la circulation s'achève comme dans la chaudière de Cornwall. Les tubulures consolident d'ailleurs le tube elliptique et constituent des armatures qui s'opposent aux déformations; en brisant le courant des gaz de la combustion à la sortie de l'autel, elles favorisent leur mélange et par suite la combustion; elles forment surface de chauffe et augmentent ainsi la puissance de la chaudière, sans accroître l'espace occupé par le fourneau; enfin, les courants verticaux qui se produisent dans chacune d'elles renouvellent rapidement l'eau dans toutes les parties de la chaudière et favorisent la transmission.

Ces tubulures, qui avaient primitivement des formes et des dimensions différentes suivant leur position dans le tube elliptique, sont aujourd'hui toutes identiques, ce qui simplifie la construction. Pour rendre possible cette identité on a modifié le

grand cylindre intérieur, dont la directrice autrefois elliptique est maintenant formée de deux circonférences concentriques convenablement raccordées.

La forme de tronc de cône des tubulures facilite leur mise en place en permettant à la collerette du bas de passer par l'ouverture du haut; elle favorise, en outre, le dégagement de la vapeur. Dans les générateurs les plus récents, la chambre intérieure renfermant les tubulures présente plusieurs renflements qui forment chicanes et renvoient vers le milieu du carneau les gaz qui tendent à s'échapper directement le long des parois latérales.

La chaudière Galloway est appréciée en Angleterre, où elle a reçu de nombreuses applications. Depuis quelques années, on construit ces chaudières en tôle d'acier.

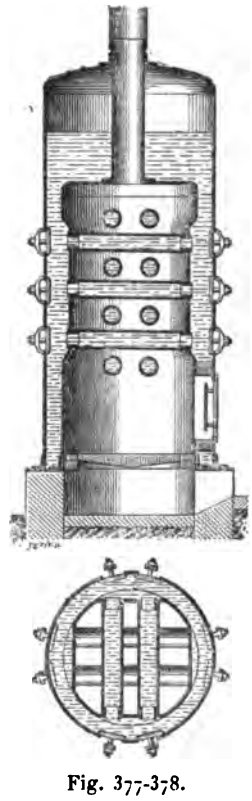


Fig. 377-378.

CHAUDIÈRES VERTICALES A FOYER INTÉRIEUR.

Dans le but de réduire, autant que possible, la surface occupée sur le sol, on a fait des chaudières à foyer intérieur disposées verticalement.

698. Chaudière Cochot. — Les figures (377-378) montrent une chaudière de ce genre, établie par M. Cochot. D'abord utilisée sur les bateaux à vapeur, elle a été depuis appliquée aux locomobiles et aux installations fixes. Elle se compose de deux cylindres concentriques laissant entre eux un espace annulaire rempli d'eau.

A la base du cylindre intérieur se trouve le foyer; les gaz s'échappent par une cheminée rivée sur la boîte à feu et traversant la chambre de vapeur. Cette cheminée sert d'entretoise et se prolonge de la hauteur nécessaire au-dessus de la chaudière.

Pour que les gaz de la combustion ne s'échappent pas trop directement, en même temps que pour augmenter la surface de chauffe, on dispose dans les boîtes à feu un certain nombre de tubes transversaux d'environ 12 centimètres de diamètre qui relient les parois opposées de la chambre d'eau annulaire. On place ainsi deux, trois, quatre étages de ces tubes et même davantage, en ayant soin de les entre-croiser, pour briser le courant gazeux. Il convient, pour faciliter le dégagement de la vapeur, de leur donner une certaine inclinaison.

L'enlèvement des incrustations qui pourraient se produire dans les tubes est facilité en ménageant, sur le cylindre extérieur et dans le prolongement de chacun d'eux, des ouvertures dites *trous de bras* et munies de tampons autoclaves.

699. Chaudières à bouilleurs croisés. — Cette chaudière (fig. 379) présente beaucoup d'analogie avec la précédente.

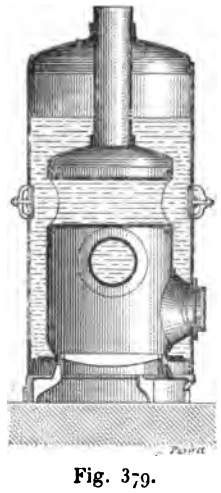


Fig. 379.

Pour augmenter la surface de chauffe et empêcher les gaz d'aller directement à la cheminée, on a placé en travers de la boîte à feu des tubes inclinés qui reçoivent l'action de la flamme et favorisent le mélange des gaz. L'inclinaison a pour but de faciliter le dégagement de la vapeur et d'empêcher les tubes d'être brûlés.

Ces chaudières sont employées pour de petites forces et ne sont à recommander que dans les cas où l'on ne dispose que d'un emplacement restreint.

700. Afin d'utiliser pour le chauffage la surface du cylindre extérieur, et pour diminuer le refroidissement, on a imaginé une autre disposition de chaudière verticale, qui comporte encore deux cylindres concentriques séparés par une nappe d'eau. Comme dans l'appareil précédent, le foyer est à la base et à l'intérieur du plus petit des deux cylindres. Les gaz chauds s'échappent par quatre tubes transversaux, placés à la partie supérieure et débouchant dans un carneau annulaire

en maçonnerie, circulent en descendant autour du cylindre extérieur et sont évacués, à la partie inférieure, par un conduit latéral se rendant à la cheminée.

701. Chaudière de bateau à galeries. — Avant l'invention des générateurs tubulaires, on employait sur les bateaux à vapeur des chaudières dites *à galeries.* Ces appareils se composaient d'un certain nombre de foyers intérieurs à la sortie desquels les gaz de la combustion se réunissaient, après l'autel, et circulaient dans une série de carneaux ou galeries de forme à peu près rectangulaire, dont les parois métalliques étaient séparées par une lame d'eau. On donnait à ces galeries des formes contournées afin d'augmenter le plus possible la surface de chauffe.

Ordinairement on plaçait côte à côte deux générateurs semblables que desservait une cheminée commune. La chaudière à galeries principalement employée à l'origine de la navigation à vapeur, alors qu'on n'utilisait que les basses pressions, ne convient pas pour fournir de la vapeur à haute tension aux moteurs à longue détente aujourd'hui adoptés. Elle n'offre plus qu'un intérêt rétrospectif. On l'a remplacée en général par les systèmes de chaudières tubulaires et multitubulaires qui font l'objet des paragraphes suivants.

§ IV

CHAUDIÈRES TUBULAIRES.

702. Préliminaires. — Les chaudières à grand volume que nous venons de décrire deviennent très lourdes et fort encombrantes lorsqu'elles doivent pouvoir fournir une quantité considérable de vapeur. On ne peut donc songer à les utiliser dans les cas où le poids et le volume des générateurs sont limités. Il fallait, par conséquent, pour ces applications, imaginer des appareils nouveaux, d'un poids et d'un volume réduits, permettant de produire une vaporisation suffisamment abondante.

En 1825, Marc Séguin résolut le problème par l'invention de

la chaudière tubulaire, dans laquelle les gaz de la combustion passent simultanément dans un grand nombre de tubes de petit diamètre, entourés par l'eau à vaporiser et groupés en faisceau. Il put ainsi constituer une très grande surface de chauffe sous un faible volume. Sa chaudière a été adoptée pour tous les appareils mobiles à vapeur, locomotives, locomobiles, bateaux à vapeur, etc., et les avantages qu'elle présente, sous beaucoup de rapports, la font employer dans de nombreuses installations fixes.

On la dispose différemment suivant les conditions spéciales auxquelles on veut satisfaire. Elle peut être soit horizontale, soit verticale. Le plus souvent, les gaz de la combustion se rendent du foyer à la cheminée en circulant toujours dans une même direction; la chaudière est alors dite à tubes directs ou *à flamme directe*. Lorsqu'après avoir effectué un premier parcours les gaz chauds rétrogradent pour traverser le faisceau tubulaire disposé parallèlement au foyer, la chaudière est dite *à retour de flamme*.

On garnit souvent de faisceaux tubulaires les corps cylindriques des chaudières à bouilleurs et des chaudières de Cornwall; on obtient ainsi des appareils dits *semi-tubulaires*, qui établissent en quelque sorte la transition entre les générateurs à grand volume et les chaudières tubulaires proprement dites.

Dans tous ces appareils l'enlèvement des incrustations présente de grandes difficultés; pour parer à cet inconvénient on a construit des générateurs dans lesquels les tubes et même le foyer sont démontables, et qu'on nomme chaudières *à faisceau tubulaire amovible*, ou bien, *à foyer amovible*.

Nous allons passer en revue quelques types de ces différentes dispositions.

CHAUDIÈRES DE LOCOMOTIVES.

703. Ces chaudières comprennent deux parties principales.

1° Une grande chambre à parois planes, ouverte inférieurement, dans laquelle se trouve logée une caisse rectangulaire,

appelée *boîte à feu*, qui renferme le foyer et dont le dessus est tantôt plat, tantôt cintré.

2° Un corps cylindrique horizontal traversé suivant sa longueur par le faisceau tubulaire qui relie la boîte à feu et la boîte à fumée.

Les gaz chauds qui se dégagent de la grille achèvent leur combustion dans la boîte à feu puis pénètrent dans le faisceau des tubes. Ceux-ci ont de 4,5 à 5 centimètres de diamètre et 3 à 5 mètres de longueur; les gaz les parcourent en cédant leur chaleur à l'eau qui les entoure et viennent déboucher dans la boîte à fumée, surmontée d'une cheminée de faible hauteur dont le tirage naturel, absolument insuffisant, est considérablement accru par un jet de vapeur provenant de l'échappement de la machine.

L'aspiration produite par ce jet permet, non seulement de vaincre la résistance que les tubes offrent au passage des gaz de la combustion, mais encore de déterminer dans le foyer une combustion extrêmement active. On arrive ainsi à brûler par heure jusqu'à 400 kilogr. de houille et au delà par mètre carré de grille.

Le tirage est tellement énergique que les gaz chauds entraînent avec eux des poussières et des particules de charbon qui s'arrêtent en partie dans les tubes et les encrassent. L'enlèvement de ces dépôts, c'est-à-dire le ramonage, est facilement effectué par la boîte à fumée, qui est pourvue d'une porte d'accès.

Les doubles parois planes entre lesquelles se trouve l'eau qui baigne la caisse du foyer sont reliées ensemble par de nombreuses entretoises, formées de rivets filetés qui maintiennent l'écartement. Le ciel de la boîte à feu supportant parfois des pressions qui dépassent 200 000 kilogr. doit être consolidé au moyen de puissantes armatures.

Nous allons décrire deux chaudières de locomotives des modèles les plus récents et qui figuraient à l'Exposition universelle de 1889. La première, de la Compagnie d'Orléans, appartient au type de locomotive à grande vitesse et la seconde, de la Compagnie du Nord, sert à remorquer les trains de marchandises.

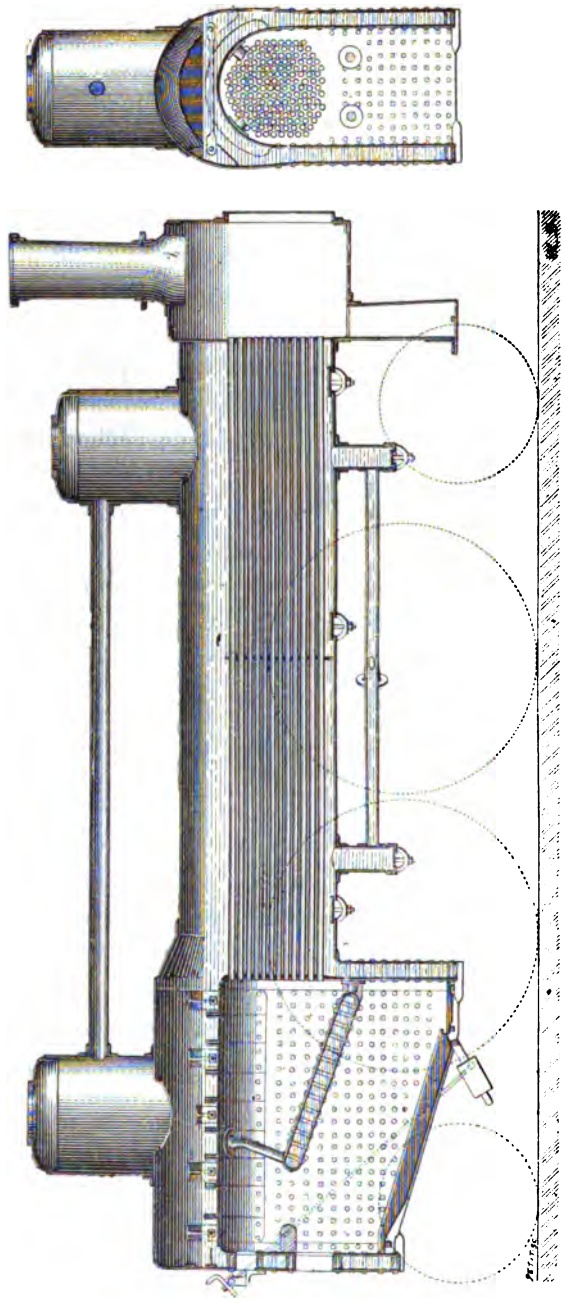


Fig. 381.

Fig. 380. — Chaudière de locomotive à grande vitesse de la Compagnie d'Orléans.

704. Chaudière de locomotive à grande vitesse de la Compagnie d'Orléans. — Cette machine est montée sur quatre essieux dont les deux du milieu reçoivent les roues motrices d'un diamètre de $2^m,15$. La chaudière (fig. 380-381) timbrée à 13 kilogr. a une longueur de $6^m,80$ et le couronnement de la cheminée est à 4 mètres au-dessus du rail. Le foyer, tout en cuivre, est du système de M. Polonceau, Ingénieur en chef du matériel et de la traction de cette Compagnie. Le ciel est constitué par une série de pièces cintrées dont les bords, relevés d'équerre, forment autant de nervures qui viennent se juxtaposer et sont utilisées pour l'assemblage des pièces entre elles. Cette disposition présente un double avantage : la paroi supérieure du foyer se trouve, en effet, consolidée par les nervures et les rivets d'assemblage ne sont pas exposés à l'action du feu.

La grille, mesurée horizontalement, a $2^m,21$ de longueur; sa largeur est de $0^m,941$; quatre petits conduits cylindriques traversant la face antérieure du foyer débouchent de chaque côté de la porte de chargement, et permettent l'accès de l'air au-dessus du combustible en ignition. Les parois verticales de la boîte à feu sont solidement reliées à celles de la chaudière par un grand nombre d'entretoises. Les tubes, au nombre de 160, sont en laiton. Du côté du foyer, leur extrémité est brasée sur un bout de tuyau de même diamètre, en cuivre rouge sans soudure longitudinale. Le diamètre extérieur des tubes est de 48 millimètres et leur longueur de $5^m,19$. Ils sont sertis dans les plaques tubulaires et soutenus en leur milieu par une plaque percée de trous qu'ils traversent. La surface de chauffe totale présentée par le faisceau tubulaire, le foyer et le bouilleur du genre *Ten-Brink,* est de $139^{mq},30$. La boîte à fumée est munie, en avant, d'une large porte qui permet le ramonage des tubes, et, sur sa face inférieure, d'un cendrier fermé par un registre pendant la marche et qui sert à l'évacuation de la suie et des escarbilles pendant le ramonage.

Le corps de la chaudière, en tôle d'acier de 16 millimètres d'épaisseur, a un diamètre moyen de $1^m,30$. Il est surmonté de

deux dômes reliés à leur partie supérieure par un tuyau de fort diamètre; cette disposition a pour but de réduire la dépression à la surface de l'eau sous le dôme d'avant, dans lequel se fait la prise de vapeur, et par suite de diminuer le *primage*, c'est-à-dire la quantité d'eau entraînée.

A la partie inférieure de la chaudière se trouvent deux poches munies de fermetures autoclaves et destinées à recevoir les boues. Ces poches sont réunies par un tuyau sur lequel viennent se brancher deux tubulures horizontales symétriquement disposées par rapport à son axe, qu'elles coupent suivant un angle aigu; chacune des deux tubulures est en relation avec un giffard. L'eau d'alimentation lancée dans le tube vers l'extrémité opposée au foyer entraîne une certaine quantité de l'eau de la chaudière, se réchauffe en se mélangeant avec elle, et pénètre ainsi à l'avant du corps cylindrique à une température suffisante pour éviter les effets nuisibles du refroidissement brusque des parois métalliques.

Le tuyau de prise de vapeur qui, comme nous l'avons dit, débouche à la partie supérieure du dôme placé à l'avant, descend dans la chaudière, traverse la boîte à fumée et, de là, se rend aux cylindres de la machine. Enfin l'ensemble de la chaudière est enveloppé d'une couverture en feuilles de laiton, séparée de la chaudière par un intervalle de quelques centimètres, et qui a pour effet de réduire les pertes de chaleur par convection et rayonnement.

705. La Compagnie du Nord exposait aussi une locomotive à grande vitesse pourvue d'un foyer *Ten-Brink*.

Cette machine est montée sur quatre paires de roues, dont les deux d'avant sont fixées à un *bogie* et les deux d'arrière sont motrices; sa hauteur totale est de $4^{m},17$ et la longueur de la chaudière est de $6^{m},80$; cette dernière est timbrée à 12 kilogr. Le ciel du foyer est plat; mais pour éviter les déformations on le relie au-dessus de la chaudière par une série d'armatures formant entretoises entre les deux parois.

Le corps de la chaudière, dont le diamètre est de $1^{m},282$, est surmonté d'un dôme unique placé au milieu de sa longueur.

L'eau d'alimentation est introduite dans le corps cylindrique, en contre-bas du faisceau tubulaire.

706. Chaudière de locomotive pour train de marchandises de la Compagnie du Nord. — Comme le but qu'on se propose dans ces locomotives est de développer un effort de traction considérable sans qu'il soit nécessaire d'obtenir une grande vitesse, la machine est montée sur quatre paires de roues couplées, d'un diamètre de $1^m,30$ seulement ; la hauteur de la cheminée au-dessus du rail est de $4^m,176$; la chaudière (fig. 382)

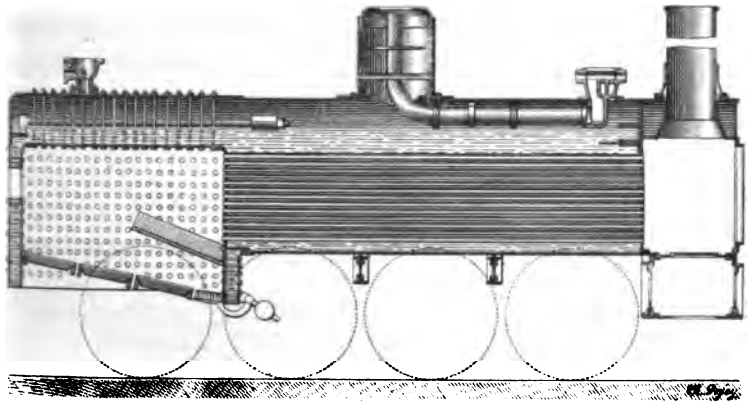


Fig. 382.

a une longueur totale de $7^m,352$, elle est timbrée à 10 kilogrammes.

Le foyer en cuivre rouge rappelle la disposition *Ten-Brink*, mais le bouilleur intérieur est ici remplacé par une voûte en briques, supportée par des cornières pendantes ; le ciel est plat et consolidé par de nombreux tirants qui le relient à la partie supérieure de la chaudière. Les parois verticales du foyer sont également renforcées par des boulons formant entretoises.

La grille présente une surface de $2^{mq},08$; les barreaux qui la composent ont une épaisseur de 0,009 et ne laissent entre eux qu'un vide de 0,010, ce qui permet de brûler les houilles les plus menues. Les tubes sont établis comme dans la chaudière précédente ; ils sont au nombre de 197, leur diamètre extérieur

est de 50 millimètres, leur longueur de $4^{m},10$ et la surface de chauffe de 126^{mq}.

Le corps cylindrique de la chaudière, en tôle de fer de 16 millimètres d'épaisseur, a un diamètre moyen de $1^{m},50$; il est aplati au-dessus du ciel du foyer. Il n'y a dans cette locomotive qu'un seul dôme, placé vers le milieu de la longueur; le tuyau de prise de vapeur a son entrée près du sommet de ce dôme, descend dans la chaudière, dont il longe la partie supérieure pour ressortir un peu en arrière de la cheminée, se bifurque et se raccorde ensuite aux boîtes à tiroir des machines.

707. Chaudières tubulaires fixes. — Les principales dispositions des chaudières de locomotives sont également appliquées aux chaudières tubulaires fixes (fig. 383-384);

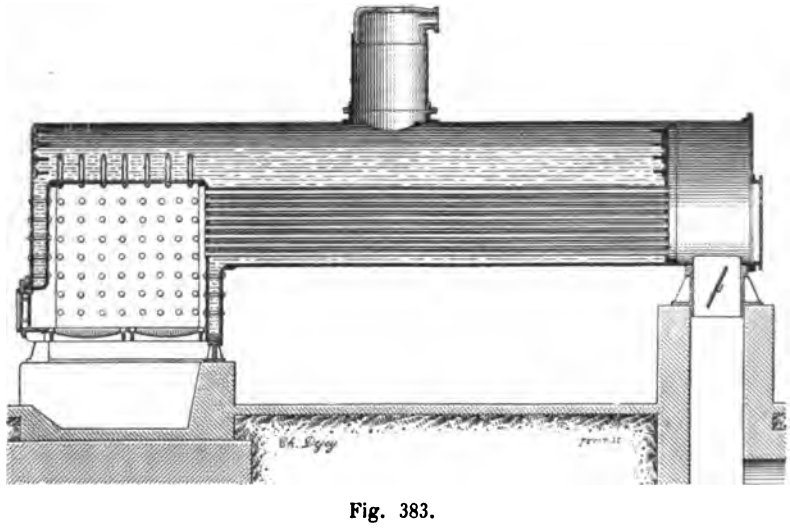


Fig. 383.

mais, quand on dispose d'une cheminée de dimensions suffisantes, on supprime le tirage artificiel produit par le jet de vapeur d'échappement. Les gaz de la combustion sortant de la boîte à fumée entrent dans un carneau spécial par lequel ils gagnent la cheminée.

Quelquefois, afin d'utiliser comme surface de chauffe une partie du corps cylindrique, on place la chaudière dans un fourneau en maçonnerie présentant deux carneaux latéraux, par

lesquels les gaz chauds sortant de la boîte à fumée passent successivement pour se rendre d'abord à l'avant de la chaudière, puis à l'arrière et enfin à la cheminée.

On construit ainsi des chaudières très puissantes de 150^{mq} de surface de chauffe et au delà.

Pour éviter les armatures que nécessitent les parois planes, on donne quelquefois à la boîte à feu la forme d'un cylindre vertical qu'on aplatit dans la partie servant de plaque tubulaire. La disposition générale est d'ailleurs semblable à la précédente, et la circulation des gaz de la combustion se fait de la même manière.

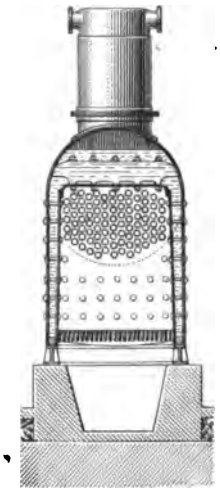


Fig. 384.

708. Chaudière Molinos et Pronnier. — Le foyer de ce générateur a déjà été décrit (**316**), nous ne parlerons donc ici que de l'appareil vaporisateur.

La chaudière (fig. 187, 188) est surmontée d'un large cylindre dont la moitié inférieure est seule remplie d'eau; la chambre de vapeur étant vaste, le primage est faible. En même temps le niveau de l'eau se trouve notablement élevé au-dessus du ciel du foyer, ce qui diminue les chances d'accidents. Enfin une plaque située vers le dernier tiers de la chaudière force l'eau d'alimentation à passer au contact de la portion du faisceau tubulaire ainsi isolée, avant de pénétrer plus avant dans le corps de l'appareil. On réalise ainsi une circulation en partie méthodique, favorable à la bonne utilisation de la chaleur, et de plus on évite les fuites qui se produisent souvent aux rivures transversales inférieures du cylindre horizontal de certaines chaudières tubulaires, quand on les alimente sans précaution avec de l'eau froide.

709. Chaudière à tubes et chambre de combustion. — *Les figures* 385 et 386 représentent une disposition qui participe à la fois de la chaudière de Cornwall et de la chaudière tubulaire.

Le foyer, placé dans un tube intérieur cylindrique dont la longueur est à peu près moitié de celle de la chaudière, comprend

la grille, l'autel et se termine par une chambre de combustion dans laquelle les gaz achèvent de brûler. A la suite se trouve un

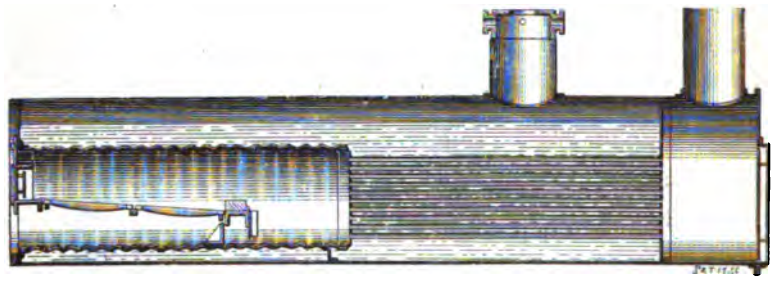


Fig. 385.

faisceau tubulaire que les gaz chauds parcourent dans toute sa longueur avant de se réunir à l'extrémité du générateur dans une boîte à fumée que surmonte la cheminée.

Fig. 386.

On peut faire circuler les gaz de la combustion au contact du corps cylindrique extérieur, avant de les envoyer à la cheminée.

Cette chaudière est représentée munie d'un foyer ondulé du système Fox, qui résiste bien aux pressions extérieures et permet les dilatations.

710. Chaudière Fairbairn (fig. 387, 388). — La chaudière Fairbairn est une modification de la chaudière Cornwall à deux gros tubes intérieurs. Comme celle-ci elle est

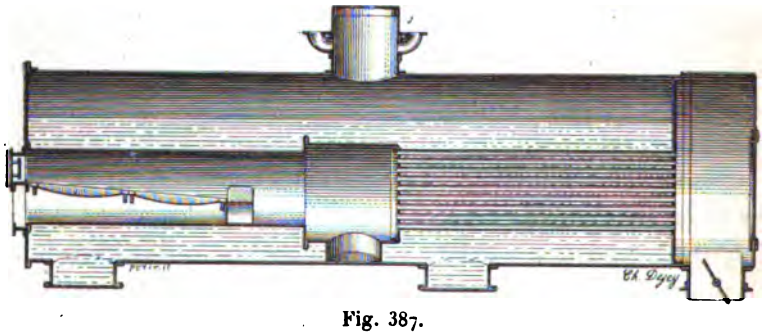


Fig. 387.

munie de deux foyers, mais, immédiatement après l'autel, les gaz se réunissent dans une même chambre de combustion de

forme elliptique, avant de pénétrer dans un faisceau tubulaire.

A l'extrémité opposée aux foyers se trouve la boîte à fumée, surmontée quelquefois d'un court tuyau de dégagement semblable à celui des locomotives, mais communiquant le plus souvent avec un conduit qui aboutit à la cheminée de l'usine.

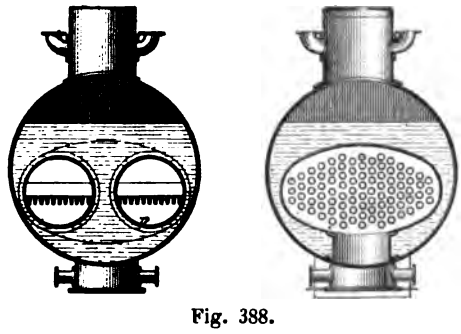


Fig. 388.

711. Chaudières de locomobiles. — Ces chaudières sont ordinairement à flamme directe comme celles des locomotives. Les foyers sont placés dans une caisse tantôt rectangulaire, tantôt cylindrique (fig. 389). Dans ce dernier cas, on supprime les

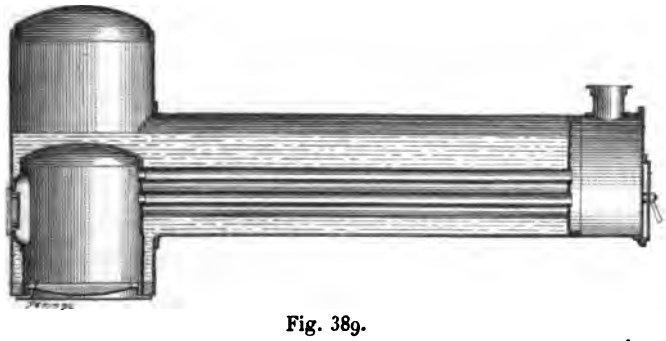


Fig. 389.

entretoises et parfois même les armatures de la boîte à feu, ce qui rend la construction moins coûteuse et facilite le nettoyage qui peut alors être effectué par de petits trous de bras extérieurs, pourvus de tampons autoclaves.

Les gaz de la combustion sortant du foyer pénètrent dans le faisceau des tubes et s'échappent par la cheminée qui surmonte la boîte à fumée.

Lorsqu'on veut obtenir une combustion plus complète et un meilleur rendement, on emploie la disposition dite à retour de flamme (fig. 390, 391). Les gaz, après avoir franchi l'autel, pas-

sent dans une chambre de combustion formée par un gros tube intérieur qui se prolonge jusqu'à l'extrémité de la chaudière. Ils ont ainsi pu achever de brûler avant de s'engager dans le faisceau tubulaire qu'ils doivent parcourir pour se rendre à la cheminée placée au-dessus de l'entrée du foyer.

Le type que nous reproduisons est construit par M. Huguet.

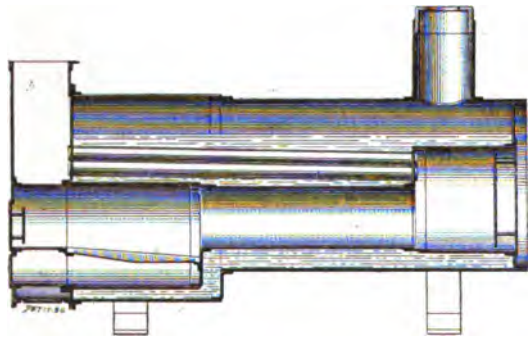


Fig. 390.

Fig. 391.

Dans cette chaudière, le nettoyage est effectué par de petits trous de bras à fermeture autoclave, disposés en hélice le long du cylindre qui contient le faisceau tubulaire.

Le ramonage intérieur des tubes peut être fait par les portes pratiquées à l'avant et à l'arrière des deux boîtes à fumée.

Les chaudières tubulaires transportables prennent le nom de chaudières demi-fixes lorsqu'elles ne sont pas montées sur roues.

712. Chaudières marines. — L'augmentation sans cesse croissante de la vitesse des navires à vapeur a nécessité l'emploi d'appareils moteurs de plus en plus puissants qui exigent pour leur fonctionnement d'énormes quantités de vapeur. Certaines machines de bateaux peuvent fournir une force de près de 20,000 chevaux. Comme il y a intérêt à réduire le plus possible le poids mort transporté, on se sert de vapeur à très haute tension, qu'on utilise dans des machines Compound à triple et même à quadruple expansion. Les appareils producteurs de vapeur, fonctionnant alors à des pressions comprises entre 8 et 12 kilogrammes par centimètre carré, on a dû renoncer aux anciennes

chaudières à faces planes qui, dans ces conditions, ne pouvaient résister à la déformation sans être pourvues d'un système d'armatures lourd, compliqué et par suite coûteux. On a été conduit peu à peu à l'emploi des formes cylindriques, et on fait usage aujourd'hui des chaudières tubulaires soit à retour de flamme, soit à flamme directe. On utilise également les chaudières à petit volume et à vaporisation rapide dont nous parlerons plus loin (§ V). Les types adoptés varient suivant l'espace disponible et les exigences auxquelles il faut satisfaire.

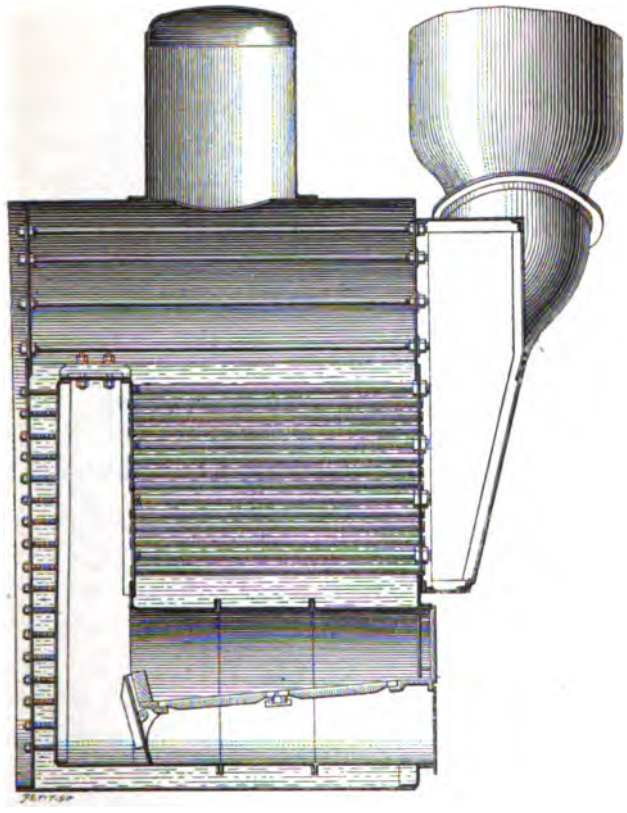


Fig. 392.

713. Chaudière marine tubulaire à retour de flamme. — Les figures 392, 393 représentent la disposition des chaudières tubulaires adoptées pour les paquebots « Champagne » et

« Bretagne », de la Compagnie transatlantique. Ces générateurs sont du type Cornwall à foyers multiples et à retour de flamme. Le cylindre extérieur, d'un diamètre de $4^m,65$ et d'une longueur de $2^m,90$, renferme trois foyers de $1^m,15$ de diamètre dont la longueur, un peu plus faible que celle de la calandre,

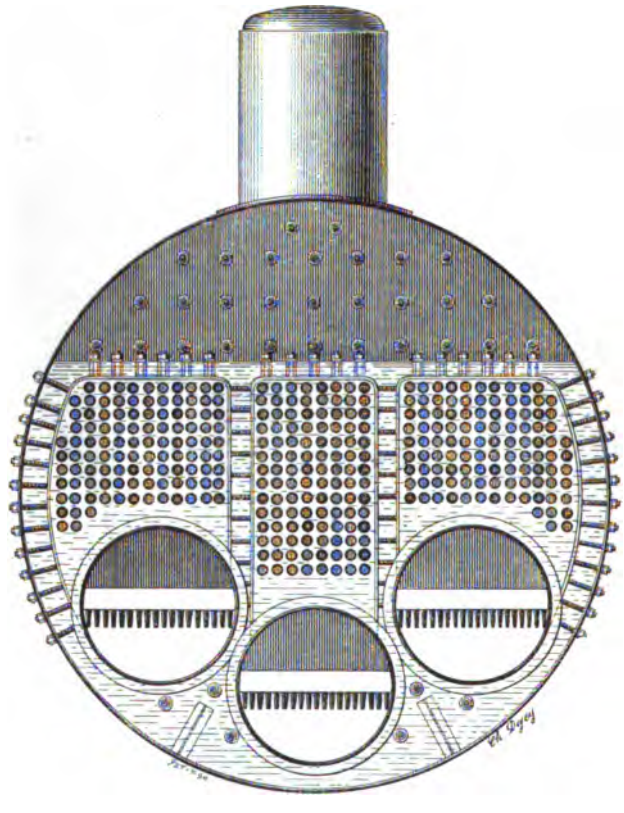


Fig. 393.

est telle qu'il reste une nappe d'eau entre le fond de la chaudière et leur extrémité.

En arrière des grilles se trouve une grande chambre de combustion où les gaz achèvent de brûler. Ils passent ensuite dans le faisceau tubulaire, reviennent vers l'avant dans la boîte à fumée et gagnent la cheminée par un conduit métallique.

Ces chaudières sont timbrées à 8 kilogr.; les tôles de l'enve-

loppe extérieure, en acier extra-doux, ont 30 millimètres d'épaisseur. Les fonds sont solidement entretoisés par des tubes tirants également en acier, filetés à chaque extrémité et fixés par des écrous, de manière à rendre l'ensemble aussi rigide et aussi indéformable que possible. Le poids d'une telle chaudière est de 37 tonnes.

Chacun des paquebots en comporte quatre semblables et, en outre, quatre autres d'une construction analogue ; ces dernières ont $5^{m},70$ de longueur, six foyers et pèsent chacune 64 tonnes. Toutes ces chaudières sont établies symétriquement deux par deux, ont leur axe placé parallèlement à celui du bâtiment, et sont réparties entre deux chambres de chauffe séparées par une cloison étanche.

714. Chaudière marine tubulaire à flamme directe. — Dans certains navires tels que les croiseurs à grande vitesse, les torpilleurs, etc., on renonce aux chaudières à plusieurs foyers et à retour de flamme que l'on regarde comme trop encombrantes et trop pesantes, à cause de leur grand diamètre et de l'épaisseur considérable des tôles de leurs parois.

On utilise les chaudières à flamme directe et on a recours au tirage forcé qu'on produit en insufflant, sous la grille du foyer fermé à cet effet, de l'air sous pression. Ce procédé donne lieu à un reflux de flammes dans la chambre de chauffe, lorsqu'on ouvre les portes du foyer sans avoir, au préalable, fermé la conduite de vent. Pour supprimer ce refoulement de flammes et, de plus, pour faciliter la ventilation, on fait l'insufflation dans la chaufferie hermétiquement close. Ce second procédé, quoique plus coûteux d'installation, paraît préférable au premier ; mais les chauffeurs refusant de rester dans une chambre fermée de toutes parts, il est peu probable que ses applications se multiplient.

Nous allons décrire un des derniers types construits par la maison Clarapède pour la marine de guerre française et qui se trouve installé à bord de plusieurs canonnières cuirassées de première classe. Cette chaudière (fig. 394) se compose d'un corps cylindrique principal, de $1^{m},40$ de diamètre et de 6 mètres de lon-

gueur, renfermant le foyer et le faisceau tubulaire. Un cylindre de plus faible longueur et d'un diamètre deux fois moindre que le premier surmonte celui-ci et forme réservoir de vapeur. Les deux cylindres sont réunis par deux larges tubulures placées au-dessus du foyer. Ce dernier est analogue à celui des chaudières de locomotives, avec cette différence cependant qu'il comporte une chambre de combustion à la suite de l'autel. Le ciel est plat et renforcé par une série d'armatures boulonnées.

La grille, dont la surface est de 2 mètres, est légèrement inclinée; une murette en briques réfractaires est établie à l'extrémité pour former autel. Le faisceau tubulaire comprend

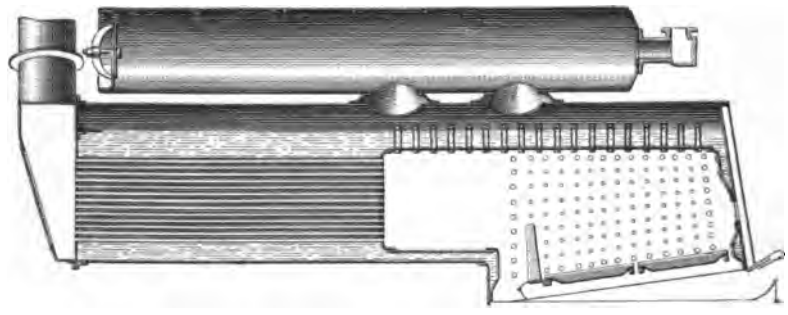


Fig. 394.

219 tubes, dont le diamètre extérieur est de 44 millimètres et la longueur $2^{m},70$. La surface de chauffe est de 84 mètres.

L'eau s'élève normalement à $0^{m},15$ au-dessus du ciel du foyer; son volume est alors de $4^{m^3},65$ et la capacité de la chambre de vapeur est de $3^{m^3},50$.

Le cylindre supérieur est muni à l'avant d'une tubulure pour la prise de vapeur et à l'arrière d'un tampon autoclave pour les visites intérieures. Ces appareils ne sont timbrés qu'à 6 kilogr., ce qui est relativement faible pour des chaudières marines.

Chacune des embarcations, à bord desquelles ces chaudières sont établies, en renferme quatre semblables placées de front et dont les façades sont perpendiculaires à l'axe du navire; elles fournissent la vapeur à des machines pouvant développer environ 1700 chevaux et actionnant deux hélices.

715. A bord des bateaux torpilleurs qui doivent pouvoir marcher *à toute vitesse* pour l'attaque comme pour la retraite, on s'applique à établir des chaudières ayant une très grande puissance de vaporisation et un poids aussi restreint que possible. Les chaudières tubulaires essayées sur ces bateaux se comportent bien au tirage naturel, mais, dès qu'on recourt au tirage forcé, les parois des boîtes à feu sont endommagées en quelques heures, sans doute parce que la circulation de l'eau se fait mal. On donne aujourd'hui la préférence à certains générateurs multitubulaires à circulation rapide auxquels on peut, sans les détériorer, faire produire des quantités de vapeur excessivement grandes.

CHAUDIÈRES TUBULAIRES VERTICALES.

716. La chaudière Zambeaux (fig. 395) est établie de manière à occuper le minimum de surface horizontale ; elle comporte un faisceau tubulaire vertical qui surmonte le foyer placé dans une caisse cylindrique à section circulaire et à doubles parois ; le ciel du foyer est constitué par une plaque tubulaire sur laquelle s'assemblent des tubes de 3 mètres de hauteur. Ces derniers sont fixés à leur extrémité supérieure dans une autre plaque tubulaire formant la base d'une boîte à fumée qui supporte la cheminée. La circulation des gaz est donc verticale et directe, du foyer à la cheminée, à travers le faisceau tubulaire.

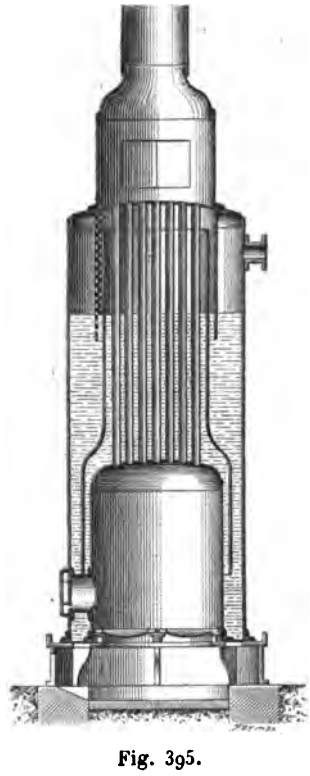


Fig. 395.

Cette chaudière renferme quelques particularités intéressantes. Ainsi l'espace annulaire qui entoure le foyer est divisé en deux parties concentriques par une cloison circulaire qui

monte jusqu'au-dessus du niveau de l'eau et descend presque jusqu'à celui de la grille. Cette disposition a pour effet de séparer les deux courants qui se produisent dans l'espace annulaire de la chaudière : l'un ascendant de vapeur et d'eau au contact de la paroi du foyer, l'autre descendant le long de la paroi extérieure. La circulation de l'eau et par suite le refroidissement du métal sont ainsi mieux assurés.

A la plaque tubulaire supérieure est fixé un cylindre en tôle qui pénètre dans l'eau de la chaudière et se trouve percé de trous du côté opposé à la prise de vapeur. Cette disposition a pour but d'obliger la vapeur qui se dégage à parcourir, avant de quitter la chaudière, un chemin contourné dans lequel elle se débarrasse de la majeure partie de l'eau entraînée. Cette précaution est surtout bonne à observer avec des chaudières verticales, plus sujettes que les autres aux entraînements d'eau à cause de la surface réduite d'évaporation qu'elles présentent.

La chaudière de M. Zambeaux a donné de bons résultats comme vaporisation dans des essais effectués à Mulhouse. Malheureusement les incrustations tendant à se produire dans les parties les plus exposées à la chaleur du foyer, l'extraction des dépôts est assez difficile.

On construit également des chaudières verticales à retour de flamme tubulaire qu'on utilise surtout dans les cas où, en même temps que la surface, la hauteur fait défaut. Le foyer est disposé comme dans les chaudières à tubes directs, seulement il se termine par une chambre plus large dans laquelle s'ouvrent les tubes du faisceau qui entoure le foyer; les gaz redescendent par ces tuyaux jusqu'au bas de la chaudière et de là gagnent la cheminée.

Les générateurs verticaux peuvent être entourés d'une enveloppe en maçonnerie; les gaz chauds sortant des tubes passent alors au contact de la paroi métallique extérieure avant de se rendre à la cheminée.

Les chaudières tubulaires verticales ne sont ordinairement employées que pour actionner des machines peu puissantes et dans les ateliers où l'espace est très limité. En général, elles utilisent moins bien la chaleur que les chaudières horizontales.

CHAUDIÈRES SEMI-TUBULAIRES.

717. On désigne sous ce nom certains générateurs résultant de l'adaptation aux chaudières à grand volume d'un faisceau de tubes intérieurs de petit diamètre servant au retour des flammes.

Les figures 396, 397 représentent une chaudière de ce type pourvue de deux bouilleurs et de deux réchauffeurs, ces derniers étant disposés latéralement au fourneau.

Les gaz de la combustion circulent d'abord autour des bouil-

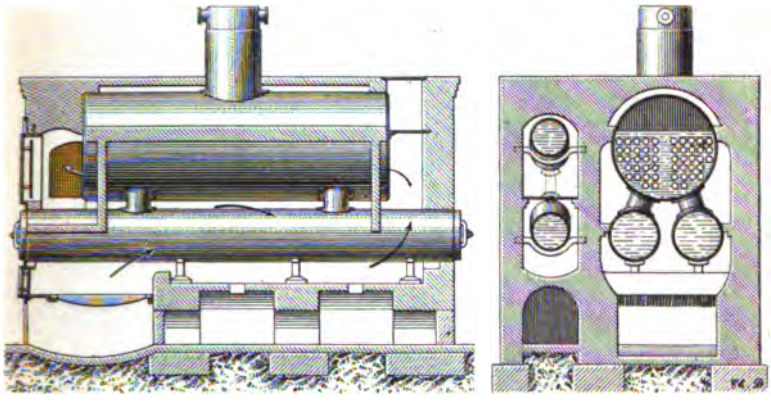


Fig. 396. Fig. 397.

leurs et de la partie inférieure du corps cylindrique; après ce premier parcours, ils reviennent par le faisceau tubulaire à l'avant du fourneau; de là ils passent successivement autour des deux réchauffeurs et se rendent à la cheminée. Des portes sont réservées dans la maçonnerie du fourneau pour permettre le nettoyage intérieur des tubes. Ceux-ci ont été répartis en deux faisceaux séparés par un intervalle libre pour faciliter un peu l'enlèvement des incrustations.

On a pu voir à l'Exposition universelle de 1889 une chaudière de ce type, mais dans laquelle les réchauffeurs latéraux avaient été remplacés par un réchauffeur Babcock et Wilcox dont nous donnerons plus loin la description (n^{os} **735** et **747**).

La maison Farcot conserve la disposition de la figure 397, mais en ne mettant qu'un réchauffeur latéral.

On fait également des générateurs semi-tubulaires à foyer intérieur; nous représentons (fig. 398 et 399) l'un de ces appareils qui se compose d'un corps de chaudière de Cornwall à deux foyers surmonté d'un large cylindre traversé dans sa longueur par un faisceau tubulaire, et dont la partie supérieure sert de chambre de vapeur; le tout est établi dans un fourneau en

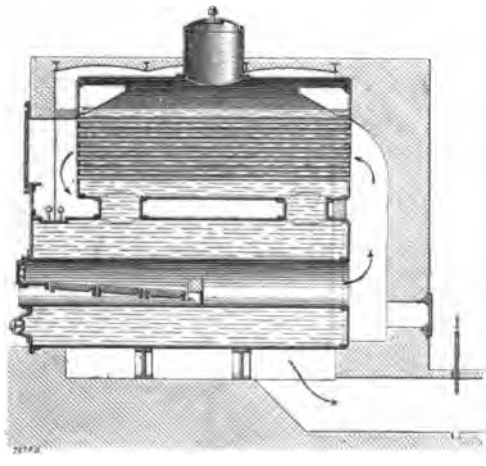


Fig. 398.

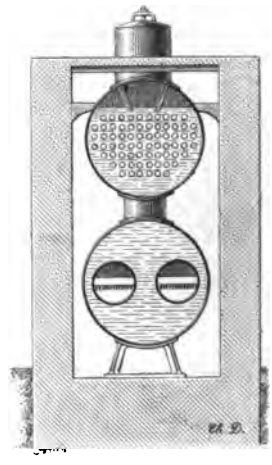


Fig. 399.

maçonnerie. Les gaz de la combustion, après avoir parcouru les cylindres des foyers, se réunissent à l'arrière pour revenir en avant à travers les tubes supérieurs. Ils gagnent ensuite le carneau de sortie, après avoir circulé dans la longueur du fourneau en enveloppant l'ensemble de la chaudière dont on utilise ainsi la surface extérieure.

CHAUDIÈRES A FAISCEAU TUBULAIRE AMOVIBLE.

718. Dans les différents systèmes de chaudières tubulaires que nous venons de décrire, il est fort difficile et souvent impossible d'enlever les incrustations qui se déposent autour des tubes. Quoique multipliés autant que possible, les trous d'homme et les trous de bras ne suffisent pas pour permettre d'atteindre avec les outils toutes les parties incrustées. C'est un défaut grave des chaudières tubulaires et qui peut amener rapidement leur

mise hors de service. On a imaginé, pour remédier à cet inconvénient, diverses dispositions ayant pour but de rendre amovible le faisceau tubulaire de la chaudière qu'on peut alors, après démontage, facilement débarrasser des incrustations.

719. MM. Thomas, Laurens et Pérignon ont établi les premiers un générateur (fig. 400-401) dont on peut sortir complète-

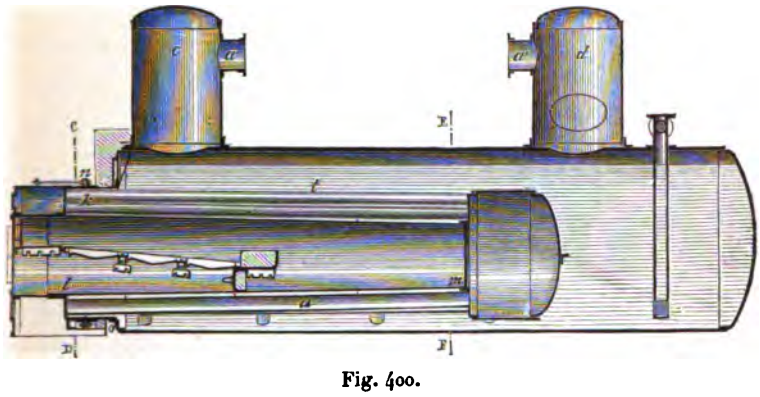


Fig. 400.

ment le vaporisateur composé du foyer *lm*, de la boîte à fumée *h* et du faisceau tubulaire *t*, et mettre ainsi à découvert toutes les parties susceptibles d'être incrustées.

Les figures 402-403 représentent un des derniers types construits par MM. Weyher et Richemond. Dans cet appareil le foyer est placé à l'intérieur d'un cylindre analogue à celui des chaudières de Cornwall, mais il est enveloppé par un grand nombre de tubes de faible diamètre disposés en couronne. Ces tubes formant retour de flamme sont fixés dans deux plaques tubulaires rivées normalement au cylindre du foyer, l'une à l'avant de la chaudière, l'autre à l'extrémité opposée, cette dernière constituant la paroi antérieure de la boîte à fumée. Le vaporisateur est placé dans l'intérieur d'un corps cylindrique ou *calandre* portant à l'avant une grande cornière rivée formant bride, sur laquelle s'applique la plaque tubulaire antérieure du

Fig. 401.

vaporisateur. Celle-ci est maintenue au moyen de boulons, et le joint est fait soit au minium, soit avec un anneau de caoutchouc.

Au-dessus de cet ensemble se trouve un cylindre communiquant avec la calandre par deux larges cuissards. Le vaporisateur est complètement entouré par l'eau dont le niveau s'élève à peu près à mi-hauteur du cylindre supérieur, c'est-à-dire notablement au-dessus du cylindre du foyer et du faisceau tubulaire.

Les gaz de la combustion sortant du foyer passent au-dessus

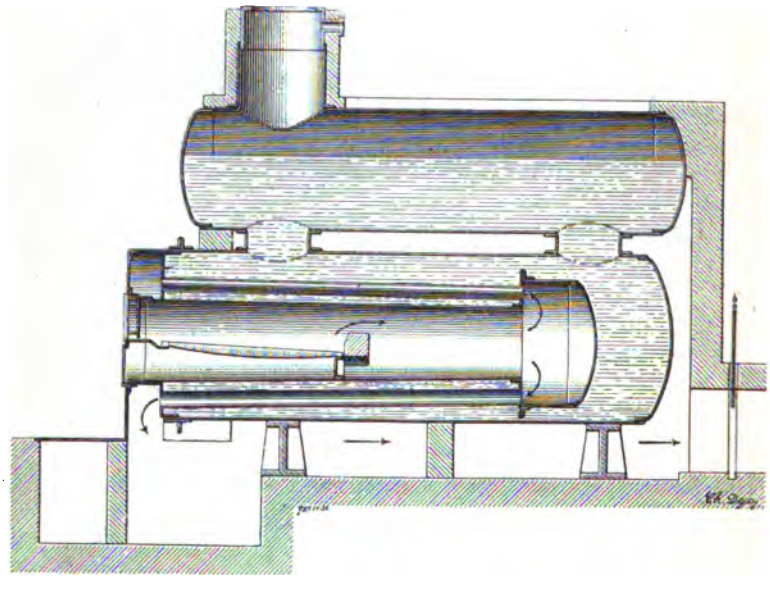


Fig. 402.

de l'autel, se rendent dans la boîte à fumée, reviennent ensuite sur eux-mêmes et traversent la couronne des tubes. A la sortie ils se réunissent à l'avant, dans une seconde boîte à fumée en tôle entourant l'entrée du cylindre du foyer. Puis ils retournent à l'arrière par un grand carneau enveloppant la calandre et la moitié du cylindre supérieur; de là, ils vont enfin à la cheminée par un conduit pourvu d'un registre.

Pour sortir le vaporisateur, il suffit de démonter les boulons du grand joint placé à l'avant de la chaudière et, au moyen de moufles, de faire glisser l'appareil amovible sur deux rails dis-

posés à l'intérieur de la calandre. Quand cet appareil est amené à l'extérieur, la couronne de tubes est accessible et peut être désincrustée. Une manœuvre inverse de la première permet de remettre le vaporisateur en place; on refait alors le grand joint, ce qui dans une chaudière bien construite ne présente aucune difficulté pratique.

Dans la chaudière primitive (fig. 400-401) le cylindre qui

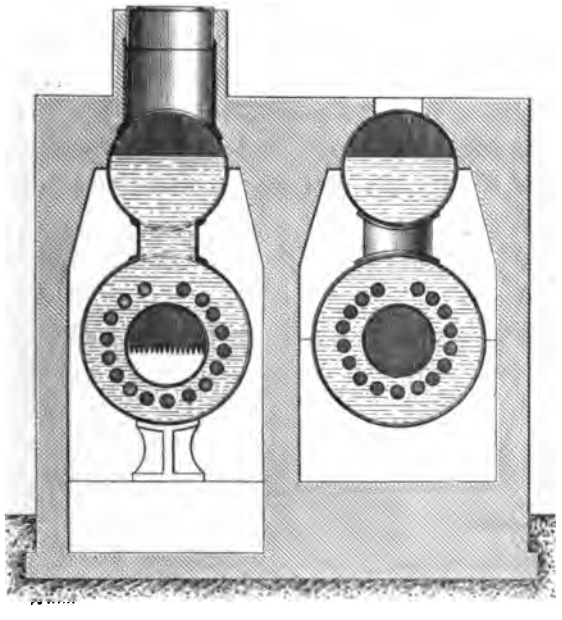


Fig. 403.

surmonte le corps principal n'existait pas. La chambre de vapeur était formée par la partie supérieure de la calandre surmontée de deux dômes *c*, *d*, et bien qu'on eût baissé autant que possible le cylindre du foyer, il ne restait que peu de distance verticale entre le niveau de l'eau et la tôle de coup de feu, qui était exposée à être brûlée en cas de négligence dans l'alimentation. L'addition du cylindre supérieur a donc constitué une amélioration importante.

Le vaporisateur est complètement libre à l'une de ses extrémités et peut ainsi se dilater facilement. La pression exercée par

le fluide intérieur sur la plaque tubulaire d'avant et qui tend à la faire bomber et à ouvrir le joint étant très considérable, il faut donner à cette plaque une forte épaisseur; de plus il est prudent, au moins pour les chaudières de grand diamètre, d'attacher le fond du vaporisateur au fond opposé de la calandre au moyen de tirants clavetés, qu'il faut enlever quand on veut sortir la partie amovible. Un trou d'homme spécial établi à l'arrière permet à un ouvrier de pénétrer dans la calandre pour pratiquer cette opération. Ce système d'attaches, employé par surcroît de précaution, ne doit, dans aucun cas, autoriser à diminuer l'épaisseur des fonds de la chaudière.

720. Chaudière Farcot. — La chaudière à foyer amovible imaginée par M. Farcot est représentée figures 404-405. On voit

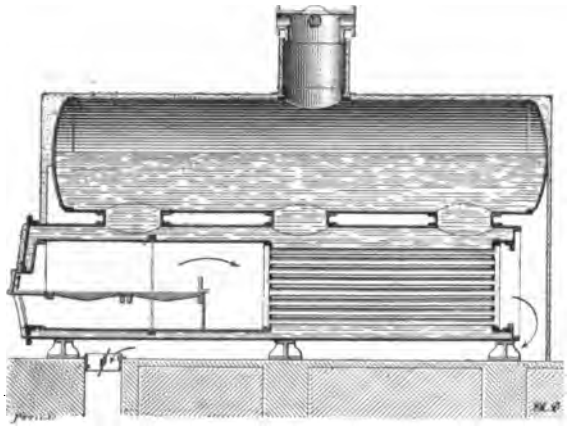


Fig. 404.

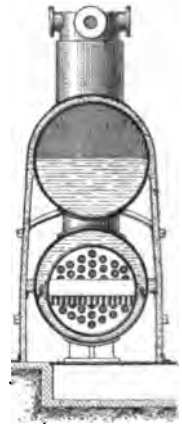


Fig. 405.

qu'à l'inverse de la précédente elle est à flamme directe. Le foyer intérieur est placé dans un tube cylindrique plongé dans la masse liquide; après l'autel se trouve une chambre de combustion suivie d'un faisceau de tubes aboutissant à une virole spéciale portant une plaque tubulaire.

Cet ensemble, qui constitue la partie amovible, est disposé à l'intérieur d'un grand cylindre auquel il est fixé au moyen de deux joints, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière, ce dernier ayant un diamètre tel qu'il puisse sortir par l'ouverture de l'avant. Les

joints sont effectués au moyen d'anneaux en cuivre rouge qui pénètrent dans des rainures circulaires opposées et se correspondant. On opère comme précédemment pour sortir et remettre en place le vaporisateur, qui est du reste muni de galets latéraux facilitant la manœuvre. Le grand cylindre est surmonté d'un autre de même diamètre auquel il se trouve relié par deux ou trois cuissards. Le corps cylindrique supérieur est à moitié rempli d'eau et la partie vide constitue la chambre de vapeur.

Les gaz de la combustion, sortant des tubes à l'arrière de la chaudière, reviennent à l'avant en chauffant le corps cylindrique inférieur et la moitié du cylindre supérieur; puis ils plongent, par un conduit muni d'un registre, dans un carneau qui les amène à la cheminée. Les parois de l'enveloppe qui entoure la chaudière sont formées de deux tôles laissant entre elles un intervalle rempli de corps mauvais conducteurs.

721. Chaudières verticales à foyer amovible. — On construit également des chaudières verticales disposées de manière à permettre d'accéder au faisceau tubulaire. Dans ces appareils c'est le plus souvent la calandre qui est mobile.

Il faut donc, pour le démontage, disposer d'une hauteur presque double de celle de la chaudière. Cette sujétion crée une gêne qui parfois empêche l'installation des générateurs de ce type.

722. Tubes séparément amovibles. — *M. Berendorf* a imaginé une disposition spéciale permettant, au lieu de retirer le faisceau tubulaire tout entier, d'enlever chaque tube séparément. Pour cela, les tubes portent à leurs extrémités une surépaisseur légèrement conique, de manière que les deux troncs de cône ainsi formés aient leur inclinaison de même sens, et que la grande base de la saillie d'avant soit moindre que la petite base de celle d'arrière.

Les trous percés dans les plaques tubulaires sont alésés exactement avec les mêmes diamètres et la même conicité que les extrémités des tubes qu'ils doivent recevoir; les orifices de la boîte à fumée étant les plus grands, c'est par ce côté qu'on introduit les tubes et qu'on les engage dans les trous corres-

pondants de l'autre plaque tubulaire. Le tube, une fois mis en place, est enfoncé à force au moyen d'un outil spécial (fig. 406) composé d'une tige taraudée aux deux extrémités et de deux arcades, s'appuyant l'une sur les bords du tube, l'autre sur la plaque tubulaire opposée; en tournant l'écrou qui s'appuie sur la seconde arcade, on fait pénétrer le tube dans les deux plaques. Pour le retirer il suffit de changer les arcades de côté; le serrage de l'écrou tend alors à arracher le tube de son logement. Les manœuvres de montage et de démontage sont donc très simples.

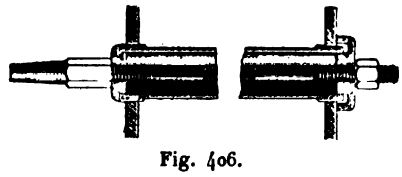


Fig. 406.

L'étanchéité du joint résulte de la précision dans l'ajustage et du soin apporté dans le montage. Exécutés soigneusement à l'aide d'un outillage spécial convenable, ces tubes mobiles donnent en général des joints satisfaisants; mais souvent, après quelques démontages, les orifices des plaques sont déformés, et, par suite, les fuites difficiles à éviter.

Quand on a recours au dispositif Berendorf, il convient de prendre une précaution spéciale.

Les diamètres des orifices pratiqués sur les plaques tubulaires n'étant pas les mêmes, la pression exercée par la vapeur sur les extrémités des tubes est plus forte d'un côté que de l'autre, et tend à les faire sortir de leur logement en les projetant au dehors.

Pour éviter que cet accident ne puisse se produire, il suffit de placer dans la boîte à fumée, à quelques centimètres en avant du faisceau de tubes, une tôle de garantie, dite *plaque de garde*, percée de trous correspondant exactement à ceux de la plaque tubulaire, mais d'un diamètre un peu plus petit, afin d'arrêter tout tube qui viendrait à se déplacer. Il convient d'ailleurs, pour ne pas trop gêner le tirage, que la section de passage dans la plaque de garde soit supérieure ou au moins égale à celle des tubes.

723. Disposition Langlois. — La plaque tubulaire du foyer est percée d'orifices alésés, et celle de la boîte à fumée est

pourvue de trous taraudés. Le tube amovible est, à l'une de ses extrémités, renforcé par un anneau extérieur, à embase ou collet, et faisant corps avec lui. Cet anneau porte une partie filetée qui vient se visser dans la plaque taraudée. Le joint est assuré par le serrage de l'embase sur une rondelle en plomb, appliquée contre la plaque tubulaire. L'autre extrémité du tube n'est pas renforcée et vient se loger dans l'orifice correspondant de la plaque du foyer. Le joint entre ces deux parties est rendu étanche à l'aide d'une bague intérieure en acier, introduite à force. Pour le démontage on commence par retirer cette bague et on dévisse ensuite le tube.

M. Montupet emploie des tubes mobiles dont une extrémité présente la surépaisseur conique du petit bout du tube Berendorf. L'autre extrémité est « rétreinte » et passe dans une bague mobile, semblable à l'anneau fixe du tube Langlois. Une garniture logée entre la bague et le tube produit l'étanchéité du joint. Dans cette disposition la pression de la vapeur tend à consolider les joints.

724. Chaudière à foyer amovible et tubes démontables. — On a pu voir fonctionner à l'Exposition Universelle de 1889 une chaudière construite par la Compagnie de Fives-Lille sur le modèle de celles qu'elle avait déjà établies pour l'outillage hydraulique de la gare Saint-Lazare. Nous la représentons plus loin (fig. 467), munie de tous ses accessoires.

Dans ce générateur on a réalisé une application des tubes Berendorf à la chaudière à foyer amovible.

La chaudière comprend deux corps cylindriques horizontaux superposés et de diamètres différents. Le corps inférieur, ou calandre, reçoit un foyer intérieur amovible et à chambre de combustion, ainsi qu'un faisceau de tubes Berendorf. Le corps supérieur est surmonté d'un dôme de diamètre presque égal au sien et d'environ 1 mètre de hauteur.

Le foyer est formé de deux viroles assemblées bout à bout par des collets rabattus à angles arrondis, de manière à permettre la dilatation des tôles et à laisser les rivets à l'abri du

rayonnement du feu. Un anneau en cuivre rouge est interposé entre les collets afin d'assurer l'étanchéité de l'assemblage. Le foyer est, à son entrée, réuni à la calandre par un joint à brides et à emboîtement très solide et très étanche; le fond de la chambre de combustion sert de plaque tubulaire et reçoit le petit bout des tubes Berendorf dont l'autre extrémité est engagée dans le fond de la calandre. Une plaque de garde est destinée à arrêter les tubes qui pourraient sortir de leurs sièges. Des entretoises clavetées, et démontables au besoin, relient la plaque tubulaire de la calandre à celle du foyer et empêchent le déplacement relatif qui faciliterait beaucoup le glissement des tubes amovibles.

Le corps supérieur de la chaudière est réuni à la calandre par trois cuissards de grande section; il est pourvu d'un diaphragme transversal placé un peu en avant du premier cuissard, afin d'éviter que le dégagement de vapeur ne vienne influer sur les indications des appareils réglementaires.

La chambre d'eau comprend la calandre et la moitié inférieure du cylindre qui la surmonte; l'autre moitié et le dôme servent de chambre de vapeur. Pour se rendre dans le dôme, la vapeur passe dans un tube horizontal, de même longueur que la chaudière, et dont le dessus est percé de petits orifices. Le robinet de départ de vapeur est installé au sommet du dôme.

L'eau entraînée ou la vapeur condensée rentrent dans la chaudière par de petites ouvertures réservées dans la tôle de base du dôme. On voit que les précautions les plus minutieuses ont été prises contre les entraînements d'eau.

Les gaz sortant du foyer traversent la chambre de combustion, parcourent le faisceau tubulaire et reviennent à l'avant de la chaudière par un grand carneau enveloppant la chambre d'eau.

L'eau d'alimentation arrive au-dessus et vers l'arrière du faisceau tubulaire. Lorsqu'on veut enlever les incrustations, on retire la plaque de garde, les tubes Berendorf et, s'il y a lieu de visiter le foyer, on peut le sortir après avoir détaché les entretoises et démonté le joint de la calandre. Deux cornières servant

de rails sur lesquels glissent les oreilles du foyer facilitent la manœuvre. Pour le remontage, on replace d'abord le foyer, puis les entretoises, les tubes amovibles et enfin la plaque de garde.

§ V

CHAUDIÈRES A FAIBLE VOLUME D'EAU ET A VAPORISATION RAPIDE.

725. Préliminaires. — En général, lorsqu'une chaudière éclate, l'importance et la gravité de l'explosion dépendent principalement de la masse et de la température de l'eau que contient l'appareil, et de la rapidité avec laquelle cette eau, en s'écoulant dans l'atmosphère, peut donner lieu à la production brusque d'un énorme volume de vapeur. Afin d'atténuer et surtout de localiser les effets de destruction occasionnés par les explosions, on a imaginé des générateurs à faible volume et composés d'un grand nombre de tubes de petit diamètre ($0^m,08$ à $0^m,12$) groupés en éléments suffisamment séparés les uns des autres pour que la rupture de l'un quelconque d'entre eux ne puisse entraîner l'écoulement brusque de la masse d'eau et de vapeur contenue dans la chaudière. En raison même de leur constitution, ces générateurs sont souvent désignés sous le nom de générateurs multitubulaires ou à tubes bouilleurs.

On comprend que, toutes choses égales d'ailleurs, les chaudières à petit volume n'offrent pas indistinctement le même degré de sécurité et qu'un type de générateur de ce système sera d'autant moins sûr, qu'une déchirure unique pourra mettre à la fois un plus grand nombre de tubes en communication immédiate avec l'atmosphère.

Les générateurs multitubulaires sont, en général, peu encombrants, ils présentent une grande surface de vaporisation sous un volume restreint et sont aptes à fournir en marche normale de la vapeur à haute tension, ce qui répond aux tendances actuelles, appuyées à la fois sur l'expérience et la théorie, de produire

dans les machines à vapeur les détentes les plus étendues, c'est-à-dire d'utiliser des chutes de température aussi grandes que possible.

La faible capacité de ces chaudières est très avantageuse au point de vue de la sécurité, mais elle constitue un inconvénient dans le cas où la dépense de vapeur est irrégulière; la pression dans la chaudière peut alors varier brusquement dans des limites très étendues. Pour diminuer le plus possible l'amplitude de ces variations, on a été conduit à pourvoir certains générateurs multitubulaires de grands réservoirs de vapeur, en partie remplis d'eau. On les loge ordinairement dans une chambre en maçonnerie, en dehors du passage des gaz du foyer, afin de les mettre à l'abri des causes ordinaires de détérioration et de ne pas diminuer, outre mesure, la sécurité recherchée dans ce type de chaudière.

Les éléments tubulaires de ces chaudières ont toujours une épaisseur de paroi qui leur permet, vu leur faible diamètre, de supporter sans se rompre des pressions accidentelles très élevées. Lorsqu'une déchirure vient à se produire, elle n'intéresse presque toujours qu'un tube, et l'écoulement d'eau et de vapeur qui résulte de cet accident est analogue à celui qu'on observerait en ouvrant brusquement un robinet de diamètre équivalent à la section de passage offerte par la déchirure. On conçoit facilement que dans ces conditions il n'y ait pas d'explosion proprement dite, et que les effets de destruction, s'il s'en produit, soient forcément très limités et restent presque toujours localisés dans la chambre de chauffe. Aussi ces chaudières sont-elles souvent dites *inexplosibles*, ce qui signifie seulement qu'elles ne peuvent donner lieu à des explosions graves. Nombre d'entre elles, en raison de leur faible capacité [1], présentent le précieux avantage de pouvoir être installées dans les locaux d'habitation, même pour des forces pouvant dépasser cinquante chevaux-vapeur.

Dans les générateurs de ce groupe, il est particulièrement im-

[1] Voir le règlement relatif aux chaudières à vapeur, § XII.

portant que la circulation de l'eau ne soit pas gênée; sinon, les tubes de la chaudière seraient exposés à des détériorations fréquentes. De plus, comme ceux-ci contiennent l'eau à vaporiser, des incrustations s'y déposent rapidement, ce qui rend indispensable l'adoption de dispositions particulières permettant leur nettoyage. La pratique a montré que les dépôts se produisent principalement dans les tubes des rangées inférieures.

Enfin, pour la facilité des réparations, les tubes soit isolés, soit groupés, forment souvent des éléments interchangeables, faciles à remplacer en cas de besoin.

Il a été créé de nombreux types de chaudières multitubulaires, dont un certain nombre sont fort bien conçus; nous allons indiquer les principaux systèmes actuellement en usage. Nous les diviserons en deux classes, suivant que le foyer est extérieur ou intérieur.

CHAUDIÈRES A FOYER EXTÉRIEUR.

726. Dès 1834 *M. le baron Séguier* proposa une disposition de chaudière à vapeur ayant principalement pour but d'éviter les explosions. Elle se composait de seize tubes de $0^m,16$ de diamètre et de 4 mètres de long; sept d'entre eux juxtaposés dans un plan incliné de $\frac{1}{6}$ environ vers l'arrière servaient de ciel au foyer. Au-dessus, les autres tubes accolés verticalement trois à trois formaient trois cloisons qui déterminaient les circulations de fumée. Tous ces tubes communiquaient entre eux et avec un cylindre supérieur servant de réservoir d'eau et de chambre de vapeur. M. Séguier ayant fait éclater l'un des tubes, l'explosion a été faible et tout s'est borné à l'émission d'un jet d'eau chaude. La disposition était donc avantageuse au point de vue de la sécurité; mais, d'un autre côté, les tubes fortement chauffés donnaient lieu à des fuites continuelles et la chaudière n'a pu faire un service régulier et continu.

En 1855 *M. Boutigny*, bien connu pour ses travaux sur l'état sphéroïdal, proposa un système destiné à produire, d'une manière pour ainsi dire instantanée, la vapeur dans une chau-

dière sans eau, où l'on projetait directement le liquide sur des surfaces chauffées à haute température.

M. Testud de Beauregard a établi un appareil dans lequel on obtient la vaporisation instantanée en amenant de l'eau en quantité convenable à la surface d'un bain d'étain en fusion. Les gaz chauds du foyer sont utilisés d'abord à chauffer le bain vaporisateur, et ensuite à surchauffer la vapeur produite.

D'autres dispositions de chaudières à vaporisation très rapide ont également été réalisées. Elles comportent le plus souvent, au-dessus d'un foyer, un serpentin cylindrique dans lequel circule l'eau à vaporiser. Les gaz de la combustion chauffent d'abord les parois intérieures du serpentin et descendent ensuite à l'extérieur pour se rendre à la cheminée. Tous ces appareils n'ont eu, en général, que des applications restreintes.

727. MM. Serpollet frères ont construit récemment un générateur à vaporisation instantanée, sans aucune chambre d'eau. Leur appareil (fig. 407) se compose d'un tube d'acier ou de cuivre enroulé en spirale, après avoir été laminé de façon à ne laisser entre les parois rapprochées qu'un passage d'environ un demi-millimètre de largeur et 45 millimètres de hauteur. Cette spirale éprouvée à 100 kilogr. et timbrée à 94 est munie de deux tubulures servant l'une à l'injection de l'eau, l'autre à la prise de vapeur.

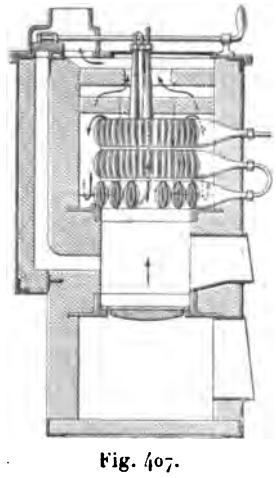


Fig. 407.

L'appareil que nous représentons (fig. 407) est destiné à alimenter de vapeur une machine de trois chevaux, et se compose de trois éléments semblables à celui que nous venons de décrire, superposés et réunis de manière à former un circuit unique; il est renfermé dans un fourneau en maçonnerie. Les gaz de la combustion s'élèvent dans la partie centrale, puis redescendent en longeant les spires extérieures pour s'échapper par quatre conduits verticaux établis aux quatre angles du foyer.

L'eau d'alimentation arrive par le serpentin inférieur, et s'échappe à l'état de vapeur par celui du haut ; cette circulation n'est pas méthodique, mais elle a dû être employée pour permettre de refroidir davantage le tube inférieur qui, sans cette précaution, pourrait être rapidement déformé et même entièrement détruit.

L'eau passant dans les serpentins portés à très haute température se trouve vaporisée instantanément et il ne se produit aucune incrustation dans le vide capillaire. Les sels en dissolution dans l'eau sortent par la prise de vapeur à l'état de poussière impalpable. On peut redouter que celle-ci, pénétrant dans les cylindres des machines, n'y produise une usure anormale ou des engorgements.

La chaudière Serpollet est essentiellement inexplosible, puisqu'elle ne renferme aucune réserve d'eau ni de vapeur. Aussi l'Administration des mines autorise-t-elle pour ce générateur la suppression des appareils de sûreté ordinaires et n'impose-t-elle que l'installation d'une soupape placée sur le tuyau de refoulement de la pompe alimentaire. (Décision ministérielle spéciale du 24 octobre 1888.)

MM. Serpollet étudient un nouvel appareil qui se compose d'un collecteur d'eau et d'un collecteur de vapeur de très petit diamètre, entre lesquels sont interposés une série de tubes qui rappellent un peu ceux de la chaudière Field, mais dans lesquels le vide annulaire serait capillaire.

On ne peut prévoir, dès à présent, l'avenir réservé à ces chaudières dont les applications ont été jusqu'ici limitées à la production de très petites forces.

728. La plupart des chaudières à vaporisation rapide et à foyer extérieur que l'on construit aujourd'hui se composent, en principe, d'un faisceau de tubes bouilleurs communiquants, groupés en séries et parcourus par l'eau à vaporiser. Le faisceau se raccorde, d'une part, avec un distributeur d'eau d'alimentation, et, d'autre part, avec un réservoir de vapeur.

Ces deux récipients sont, de plus, reliés directement l'un à l'autre au moyen d'un tube de section convenable par lequel descendent au distributeur inférieur l'eau entraînée par la va-

peur et souvent même l'eau d'alimentation de la chaudière.

729. Chaudière Belleville. — Après des essais poursuivis depuis 1850 avec une grande persévérance, M. Belleville est arrivé à constituer une chaudière renfermant un volume d'eau très minime et qui a servi de point de départ à toute une série particulière de générateurs qui rendent les plus grands services. On peut dire de cette chaudière qu'elle est le type des générateurs inexplosibles.

La chaudière Belleville (fig 408 et 409) est essentiellement formée d'un faisceau tubulaire vaporisateur composé de serpentins verticaux identiques, juxtaposés, communiquant tous, à leur base, avec un collecteur distributeur d'eau d'alimentation, et, à leur sommet, avec un collecteur épurateur ou réservoir cylindrique, dans lequel la vapeur s'emmagasine et se dépouille d'une notable partie de l'eau qu'elle a pu entraîner.

A la suite de ce réservoir on installe souvent un sécheur ou surchauffeur de vapeur. Le collecteur distributeur et le cylindre supérieur sont encore reliés l'un à l'autre par un tuyau extérieur au bas duquel se trouve un récipient nommé déjecteur destiné à recueillir les dépôts boueux que fournit l'eau d'alimentation. La chaudière comporte en outre quelques appareils spéciaux indispensables pour assurer son bon fonctionnement.

L'ensemble des serpentins composant le faisceau tubulaire est placé au-dessus d'un foyer, et le tout est disposé dans une enveloppe en fer et en briques. Les différents serpentins verticaux ne communiquent les uns avec les autres que par les collecteurs inférieur et supérieur, et constituent autant d'éléments générateurs de vapeur distincts dont le nombre peut varier à volonté suivant la puissance dont on a besoin. Le raccordement entre les serpentins et les collecteurs s'effectue à l'aide d'une bague à double cône pénétrant dans les deux pièces à relier, qu'il suffit de serrer énergiquement l'une contre l'autre pour obtenir un joint d'une étanchéité complète.

Les tubes d'un même serpentin sont disposés dans deux plans verticaux parallèles espacés de quelques centimètres et sont

réunis entre eux, deux à deux, alternativement à l'avant et à l'arrière par des boîtes de raccordement. De plus, ils sont légèrement inclinés (environ 5 centimètres par mètre) successivement en sens inverse de manière à établir une pente continue depuis le collecteur inférieur jusqu'au réservoir supérieur.

Pour permettre le nettoyage intérieur des tubes on a ménagé, dans les boîtes de communication d'avant et dans l'axe de cha-

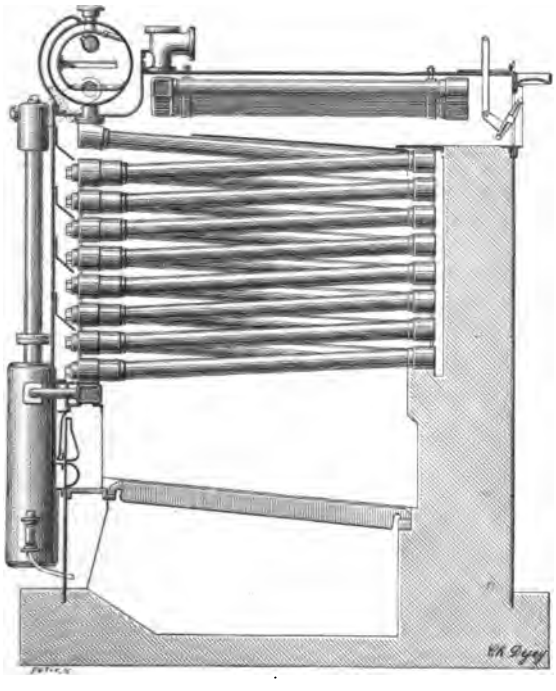


Fig. 408.

cun d'eux, une ouverture de 0,068 de diamètre. Cette ouverture est fermée par un tampon fixé par un boulon à ancre en acier qui s'enlève et se remet en place facilement. Les boîtes de raccordement sont en fonte malléable ; les tubes sont assemblés au moyen d'un joint à vis enduit de mastic gras et garni d'un contre-écrou (fig. 408).

La grille du foyer s'étend sous toute la base du faisceau tubulaire. Elle est formée de barreaux minces en fer, de 0,100 de

hauteur, ondulés et juxtaposés de manière à laisser entre eux des vides en forme d'hexagones très allongés.

Cette disposition a pour but d'assurer une égale répartition de l'air sur toute la surface de la grille, de réduire la quantité de menus charbons qui la traversent sans être utilisés et d'empêcher l'adhérence des mâchefers.

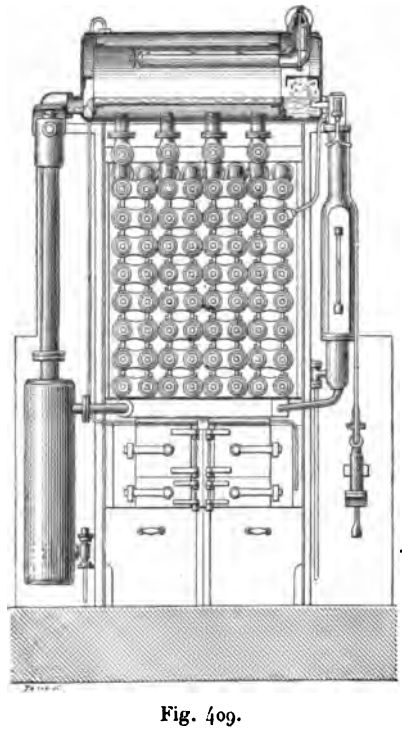


Fig. 409.

Le foyer est ordinairement pourvu d'une soufflerie à vapeur destinée à brasser les gaz et à obtenir une meilleure combustion.

Les parois latérales du foyer et de l'enveloppe ainsi que celles du fourneau sont construites en briques. Au-dessus, la chaudière est recouverte d'une double enveloppe en tôle cintrée, garnie de sable ou d'escarbilles. L'avant du fourneau est en tôle ; il reçoit une grande porte à deux battants à double paroi qu'on ouvre pour mettre le faisceau tubulaire à découvert. Les portes du foyer sont également composées de deux feuilles de tôle séparées par une couche isolante ; enfin à la partie inférieure se trouve la porte du cendrier, mobile sur un axe horizontal passant par son milieu. En faisant varier son inclinaison, on peut régler l'arrivée de l'air nécessaire à la combustion.

Les boîtes de communication n'étant pas jointives, une partie des gaz de la combustion peut tendre à se glisser par leurs intervalles et gagner directement la cheminée sans être utilisée. Pour s'opposer à cet effet fâcheux, on dispose sur la face interne de la porte antérieure, et contre la paroi postérieure du massif en maçonnerie, des cornières formant chicanes.

Le combustible en ignition chauffe par rayonnement les rangées inférieures des tubes et les gaz de la combustion s'élèvent à travers le faisceau tubulaire; pour empêcher leur départ direct, on a disposé, à hauteur convenable, des cloisons en tôle placées sur les tubes et laissant alternativement des passages à l'avant et à l'arrière, de sorte que les gaz sont forcés de parcourir plusieurs fois la longueur du fourneau avant d'arriver à l'orifice d'échappement ménagé dans le haut du mur d'arrière. Cet orifice est muni d'un registre pour régler le tirage et donne accès aux gaz dans un carneau vertical descendant qui les conduit à la cheminée.

L'eau d'alimentation, après s'être chauffée dans le collecteur épurateur et purifiée dans un récipient déjecteur, comme nous l'expliquons plus loin, pénètre dans le collecteur d'alimentation placé à la base du faisceau tubulaire. Ce collecteur, en fer forgé, est rectangulaire et a une section de 0,125 sur 0,135. Il occupe toute la largeur du fourneau et distribue l'eau au moyen de petits tubes de 0,05 de diamètre, qui débouchent chacun dans la boîte formant la base du serpentin vertical correspondant.

L'eau monte dans chaque serpentin en parcourant successivement les différentes spires, se transforme progressivement en vapeur qui occupe environ la moitié supérieure du faisceau et se dégage dans le collecteur épurateur où elle se réunit à la vapeur produite simultanément dans les autres serpentins.

Ce collecteur de vapeur est disposé d'une façon toute particulière; c'est un cylindre en tôle de $0^{m},50$ de diamètre environ, placé sur l'avant et en haut du fourneau dont il occupe toute la largeur. La vapeur venant des serpentins pénètre dans le collecteur, au-dessous d'une cloison formée d'une feuille de tôle rivée suivant une génératrice du cylindre, à l'intérieur duquel elle s'étend d'abord horizontalement, puis se replie de manière à laisser un espace annulaire par lequel passe la vapeur, avant de pénétrer dans le centre du cylindre par une série d'échancrures ménagées sur les bords de la tôle. Cette disposition a pour but de séparer la vapeur de l'eau et des matières solides qu'elle peut entraîner. La prise de vapeur se fait dans la partie centrale du collecteur au moyen d'un long tube horizontal percé de quelques orifices

de petit diamètre uniformément répartis sur sa longueur. Avant d'être distribuée, la vapeur passe dans un sécheur composé de tubes en fer de $0^m,125$ de diamètre, réunis par des boîtes de raccordement. Ce sécheur est suspendu à la double couverture métallique du fourneau et reçoit le contact des gaz de la combustion avant leur sortie de l'appareil.

L'eau d'alimentation, injectée par une pompe, arrive à une extrémité du cylindre collecteur, frappe contre un écran métallique placé au-dessus de l'orifice d'introduction, retombe en pluie et s'écoule en couche mince jusqu'à l'extrémité opposée. En passant sur la cloison dont nous avons parlé, elle prend rapidement la température à laquelle peut s'effectuer la précipitation des sels de chaux qu'elle tenait en dissolution. Ces sels mis en suspension sont entraînés à l'état de boue et descendent dans un cylindre en tôle, de $0^m,25$ de diamètre et de 1 mètre de long, appelé déjecteur et placé sur le côté du fourneau.

En raison de la grande section relative de cet appareil, l'eau en y pénétrant perd beaucoup de sa vitesse et les impuretés en suspension peuvent tomber au fond d'où on les extrait journellement par un robinet de vidange. Ainsi purifiée l'eau arrive au distributeur d'alimentation placé à la base du faisceau tubulaire.

Le fonctionnement d'un générateur de vapeur à très faible volume d'eau exige l'usage de précautions particulières. Les moindres variations dans la consommation de vapeur tendent à modifier dans des proportions notables le niveau du liquide et la pression. Pour réduire le plus possible ces variations, M. Belleville a imaginé des appareils automatiques qui font, pour ainsi dire, partie intégrante de sa chaudière, à savoir : un régulateur d'alimentation et un régulateur de tirage. Le premier de ces appareils se compose d'un flotteur placé dans un récipient mis en communication avec le haut et avec le bas de la chaudière et portant, sur le côté, un indicateur de niveau à tube de verre. Le flotteur est attaché à l'une des extrémités d'une pièce horizontale mobile sur un couteau et qui, par son autre extrémité, commande, au moyen d'une came, une tige passant dans un presse-étoupe et fixée à un levier. Ce dernier actionne à l'un de ses

bouts la tige d'une soupape et porte à l'autre un ressort et un contre-poids.

Lorsque le niveau descend dans la caisse à flotteur, celui-ci entraîne le levier, et par suite agit sur la soupape, qui, en s'abaissant, ouvre plus de passage à l'eau d'alimentation ; le niveau normal tend donc toujours à se rétablir.

Le régulateur automatique de tirage a pour but de régler l'activité de la combustion, afin de maintenir la pression sensiblement constante dans le générateur ; il agit pour cela sur le registre placé à l'orifice de sortie des gaz de la combustion. Il se compose d'un cylindre en fonte dans lequel est suspendu un ressort formé d'un certain nombre de disques tronc-coniques très aplatis, en acier, posés les uns sur les autres et appuyés alternativement sur la petite base et sur la grande avec interposition d'une rondelle en caoutchouc.

L'ensemble est serré contre le haut du cylindre par une tige renflée à l'extérieur qui vient agir sur le bras d'un levier dont l'extrémité commande l'axe du registre. L'intérieur du cylindre dans lequel plonge le ressort est plein d'eau, et communique avec la prise de vapeur de la chaudière. Lorsque la pression varie, les ressorts fléchissent et la tige qui les réunit fait manœuvrer le levier et le registre.

La chaudière Belleville est très répandue et reçoit, de plus en plus, de nombreuses et importantes applications. Deux groupes importants de chaudières Belleville ont fonctionné pendant la durée de l'Exposition Universelle de Paris, en 1889.

730. Chaudière Du Temple. — La surface de chauffe de ce générateur (fig. 410, 411) est formée par un très grand nombre de tubes en acier de 13 millimètres de diamètre intérieur, repliés sur eux-mêmes en forme de serpentins plats.

Ces tubes sont disposés en séries transversales régulièrement espacées, composées chacune de deux serpentins semblables, mais ne se recouvrant pas en projection verticale. L'ensemble des serpentins constitue deux faisceaux symétriques par rapport à l'axe du générateur qui établissent, dans l'intérieur du fourneau, une communication sinueuse entre chacun des deux dis-

tributeurs d'eau d'alimentation, placés en bas le long du foyer et le collecteur de vapeur logé au-dessus des tubes suivant la ligne médiane du fourneau. Deux tubes de retour, d'un diamètre suffisant, placés extérieurement, ramènent l'eau du collecteur dans les distributeurs d'alimentation.

L'enveloppe de la chaudière est en métal; elle est garnie intérieurement de briques réfractaires sur la hauteur totale du foyer, qui occupe tout l'espace vide sous les deux faisceaux

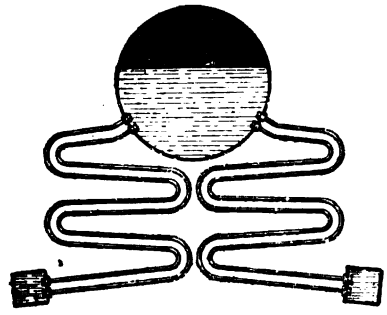


Fig. 410.

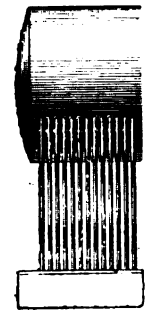


Fig. 411.

tubulaires. Les gaz de la combustion circulent autour des serpentins pour se rendre à la cheminée.

Lorsqu'on chauffe les faisceaux tubulaires, l'eau contenue dans les tubes tend à se vaporiser et il se forme un mélange d'eau et de vapeur qui monte dans le collecteur supérieur où la vapeur se sépare et s'accumule au-dessus du liquide. Celui-ci redescend par les deux gros tubes extérieurs de retour, passe dans les distributeurs et rentre dans les serpentins. La différence de densité des colonnes liquides, à l'intérieur et à l'extérieur du fourneau, crée une circulation d'autant plus active que le feu est plus intense. La prise de vapeur se trouve à la partie haute du dôme qui surmonte le collecteur.

Les tubes serpentins sont fixés à leurs extrémités dans des viroles coniques en bronze, filetées et pourvues d'un écrou. Les distributeurs et le collecteur supérieur sont percés de trous coniques dans lesquels s'engagent les cônes des viroles, et le joint est obtenu par le serrage des écrous. Le contact des deux parois

métalliques bien dressées suffit pour assurer l'étanchéité sans qu'il soit utile d'interposer aucune garniture et la disposition adoptée pour ces joints permet d'opérer assez rapidement le remplacement d'un serpentin quelconque.

Dans certaines chaudières Du Temple on intercale de nouveaux tubes serpentins dans les intervalles qui séparent les séries normales. Lorsqu'on a recours à ce moyen pour augmenter la surface de chauffe qui, au besoin, peut être ainsi doublée sans augmenter le volume occupé par la chaudière, on a soin de disposer les nouvelles séries de manière que leurs spires se projettent verticalement un peu en contre-bas des premières, afin qu'elles soient également exposées au contact de la flamme.

En raison du petit diamètre des tubes qui la composent, la chaudière Du Temple doit être alimentée avec de l'eau très pure; aussi est-elle surtout employée à bord des bateaux pourvus de condenseurs à surface. Toutefois, les matières grasses que contient dans ce cas l'eau d'alimentation amènent rapidement la destruction des faisceaux tubulaires; cet inconvénient est d'ailleurs commun à toutes les chaudières qu'on alimente avec ces eaux de condensation.

731. Chaudière Root. — Dans cette chaudière, le corps vaporisateur est constitué par un certain nombre d'éléments interchangeables, tous composés d'un tube en fer pourvu d'une boîte en fonte à chacune de ses extrémités (fig. 412-413).

Ces éléments sont disposés dans une série de plans parallèles formant un certain nombre d'étages superposés et présentant, de l'avant vers l'arrière du fourneau, une pente de 1 sur 3. Les boîtes en fonte sont juxtaposées, mais, pour le passage des gaz de la combustion, il reste toujours un intervalle entre les différents tubes. Ceux-ci sont d'ailleurs croisés de façon que ceux d'un étage couvrent les espaces libres de l'étage immédiatement inférieur. Cette disposition en quinconce a pour but de rejeter latéralement les courants ascendants divisés des gaz chauds et de rendre plus parfait leur contact avec la surface de chauffe. Les boîtes en fonte dans lesquelles sont engagées les

extrémités de chaque tube permettent, par l'intermédiaire de pièces creuses de jonction, de le faire communiquer avec l'élément correspondant de l'étage supérieur et de l'étage inférieur, de ma-

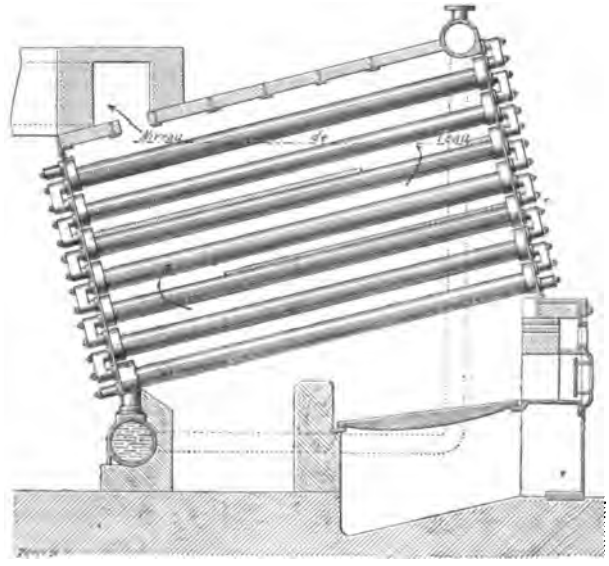


Fig. 412.

nière à établir sur toute la hauteur du générateur deux séries de canaux en zigzag, l'une à l'avant, l'autre à l'arrière, reliant les tubes de même parité. Le nombre total de ces canaux de com-

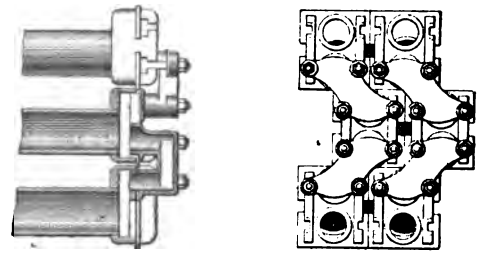


Fig. 413.

munication est toujours double du nombre des tubes constituant un étage du faisceau tubulaire. Ce dernier communique à l'arrière avec un distributeur d'eau d'alimentation et à l'avant avec un collecteur de vapeur.

Le foyer est placé directement au-dessous de l'étage inférieur des tubes dont il a sensiblement la largeur; la longueur de la grille est à peu près la moitié de celle des tubes. Les gaz de la combustion s'élèvent dans les intervalles libres autour des éléments et sont renvoyés successivement vers l'avant et vers l'arrière du fourneau au moyen de cloisons formées de plaques en fonte reposant sur les tubes d'un même étage, qui sont ainsi recouverts sur les trois quarts environ de leur longueur. En haut du fourneau, les gaz s'échappent par un créneau transversal débouchant dans un carneau qui les conduit à la cheminée.

Les tubes des éléments sont en fer et soudés à recouvrement. Ils ont, en général, 9 pieds anglais ($2^m,70$) de longueur, mais sont parfois plus longs. Leur diamètre n'est pas toujours constant dans une même chaudière; il est souvent de 4 pouces (0,100) pour les rangées du bas et de 5 pouces (0,125) pour celles du haut.

Les boîtes en fonte d'extrémités sont rectangulaires et rabotées sur les tranches; elles ont ordinairement 7 pouces et demi (0,187) de largeur et 8 pouces (0,200) de hauteur. Ces boîtes s'appliquent exactement les unes sur les autres et sont disposées de manière à former les parois d'avant et d'arrière du fourneau. Chaque boîte est percée, sur sa face extérieure, de deux orifices circulaires pratiqués l'un au-dessus de l'autre.

Les pièces creuses en fonte, munies de quatre oreilles extérieures et placées obliquement, servent à relier : 1° à l'arrière, le collecteur d'alimentation d'eau et chacun des éléments de la rangée inférieure; 2° à l'avant et à l'arrière, les éléments superposés ayant même numéro d'ordre dans chaque étage; 3° à l'avant, les divers éléments de la rangée supérieure et le réservoir de vapeur. Il reste en bas, à l'avant de la chaudière, et en haut, à l'arrière, une ligne de trous sans emploi; on les ferme par des bouchons en fonte.

Les joints se faisaient primitivement avec des rondelles de caoutchouc ayant en moyenne 9 millimètres d'épaisseur et logées dans une rainure annulaire. Aujourd'hui on emploie le joint *bi-conique* mis en vogue par M. de Naeyer. Les chapeaux sont

maintenus par quatre boulons à tête en forme de T traversant leurs oreilles et qui sont accrochés dans des entailles venues de fonte dans les boîtes d'extrémités des éléments. Le serrage s'obtient au moyen d'écrous qu'on visse sur les boulons.

Les deux parois latérales du fourneau sont formées de murs en briques sur lesquels s'appuie, au-dessus de la chaudière, un plancher en fer et briques, recouvert d'une couche de sable ou de cendres.

La disposition en quinconce des éléments laisse sur les faces d'avant et d'arrière du générateur, et pour chaque rangée de tubes, un certain vide entre la dernière boîte d'un étage et la paroi en maçonnerie. Ces vides et ceux qu'on voit sur la figure 413 (élévation) entre deux boîtes consécutives d'un même étage sont fermés par des tampons mobiles à volonté ; on peut donc assez facilement visiter l'extérieur des tubes et débarrasser leur surface de la suie et des cendres qui la recouvrent. Ce nettoyage se fait au moyen d'un jet de vapeur amenée par un tuyau de caoutchouc garni d'une spirale en métal qui le renforce.

Pour enlever les incrustations, on démonte les chapeaux établissant la communication entre les tubes, l'intérieur des éléments est ainsi mis à découvert. Le même démontage suffit pour permettre d'enlever un élément et de le remplacer.

L'eau d'alimentation est introduite à l'arrière de la chaudière dans un collecteur communiquant avec la boîte arrière de chacun des tubes de l'étage inférieur. L'eau monte dans les divers canaux sinueux, pénètre dans les tubes, et, à mesure qu'elle se réduit en vapeur, gagne la partie haute des éléments ; de là, elle passe directement au sommet de la chaudière en suivant la ligne brisée formée par les boîtes de raccordement qui relient à l'avant les tubes correspondants.

Le courant de vapeur pour se dégager n'est pas obligé, comme dans la chaudière Belleville, de suivre successivement dans toute leur longueur, les tubes communiquants superposés. La vapeur produite ne parcourt jamais plus que la longueur d'un tube pour arriver dans le canal qui la conduit au collecteur de vapeur.

Le niveau de l'eau est maintenu aux deux tiers environ de la hauteur totale du faisceau vaporisateur et les tubes supérieurs servent de chambre de vapeur; ils communiquent avec un réservoir de vapeur de 12 pouces ($0^m,30$) de diamètre, placé en haut du fourneau dont il occupe toute la largeur.

Des robinets placés à la base du collecteur d'alimentation servent pour la vidange et permettent également de purger de temps en temps la chaudière pour la débarrasser des matières salines en suspension.

Ce type de chaudière, tel que nous venons de le décrire, donne lieu, dans certains cas, à des entraînements d'eau considérables. Pour atténuer cet inconvénient, on peut adapter à chacune des boîtes de réunion d'avant, reliant les éléments des deux étages supérieurs, un tube d'une certaine longueur qui pénètre dans l'élément correspondant du haut, de manière à forcer la vapeur à descendre d'abord par l'intérieur du tube auxiliaire et à remonter ensuite à l'extérieur pour se rendre au collecteur.

Une autre disposition, qui peut même compléter la précédente, consiste à placer, à la sortie du réservoir de vapeur, un séparateur à cloisons successives qui retient l'eau entraînée.

Dans ces derniers temps, la chaudière Root a été pourvue de dispositions complémentaires. On a ajouté, au-dessus du faisceau vaporisateur, deux corps cylindriques superposés et formant réservoir de vapeur; le corps inférieur est partiellement rempli d'eau. De cette façon les tubes de la chaudière sont entièrement baignés par le liquide, ce qui rend leur surface totale de chauffe plus effective. Quelquefois, pour obtenir ce même résultat, on n'installe qu'un seul corps cylindrique au lieu de deux; la première disposition paraît préférable dans tous les cas.

En outre, on a établi à la partie supérieure sous le ciel du fourneau, un réchauffeur formé par une série de tubes parallèles horizontaux, perpendiculaires à ceux du faisceau vaporisateur. Les conduites d'alimentation sont disposées de telle sorte que l'on puisse à volonté, par un simple jeu de robinets, empêcher l'eau de passer par cet appareil, en cas d'accident ou pour toute autre cause.

732. Chaudière de Naeyer. — Ayant journellement besoin d'une grande quantité de vapeur à pression très élevée (14 à 15 kilogr.) et vivement préoccupé du nombre et de la gravité des accidents qui résultent de l'explosion des chaudières à grand volume d'eau, M. de Naeyer s'est appliqué à créer un type de générateur composé de tubes bouilleurs de petit diamètre et ne renfermant qu'une faible quantité de liquide. Après divers perfectionnements, il est arrivé à établir l'appareil que nous allons décrire et dont les applications ont rapidement pris une extension très considérable.

Le générateur de Naeyer (fig. 414, 415, 416) comporte un faisceau tubulaire relié d'une part à un distributeur d'eau d'alimentation, placé au bas et à l'arrière du fourneau et, d'autre part, à un collecteur transversal disposé à l'avant et qui débouche dans un cylindre longitudinal formant le réservoir de vapeur. Ce dernier est un peu plus long que le faisceau tubulaire et se trouve mis en relation avec le distributeur d'alimentation par deux gros tuyaux descendant de chaque côté, à l'arrière du fourneau.

Le faisceau tubulaire est constitué par la juxtaposition de plusieurs séries verticales, indépendantes et toutes semblables, composées chacune d'éléments tubulaires amovibles, identiques et par suite interchangeables, qui présentent de l'avant vers l'arrière une pente de $0^m,20$ par mètre.

Chaque élément de série est formé de deux tubes parallèles, de mêmes dimensions, placés côte à côte et mis en communication à chacune de leurs extrémités par une caisse rectangulaire dans laquelle ils sont fixés. Cette caisse est pourvue sur sa face libre de deux orifices percés dans le prolongement des tubes et alésés en forme de tronc de cône. Ces ouvertures reçoivent les communications qui servent au passage de l'eau et de la vapeur; de plus, elles permettent d'accéder au besoin à l'intérieur des tubes.

Les éléments d'une même série sont superposés l'un à l'autre et disposés en quinconce. Ils communiquent entre eux par des chapeaux ou boîtes de réunion, alternativement penchés à gauche et à droite, reliant deux à deux les caisses fixées à l'extrémité des tubes et formant ainsi, comme dans la chaudière Root, deux

canaux en zigzag, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière; mais avec cette différence toutefois, que dans le générateur de Naeyer chaque canal sert pour deux lignes de tubes. On peut donc com-

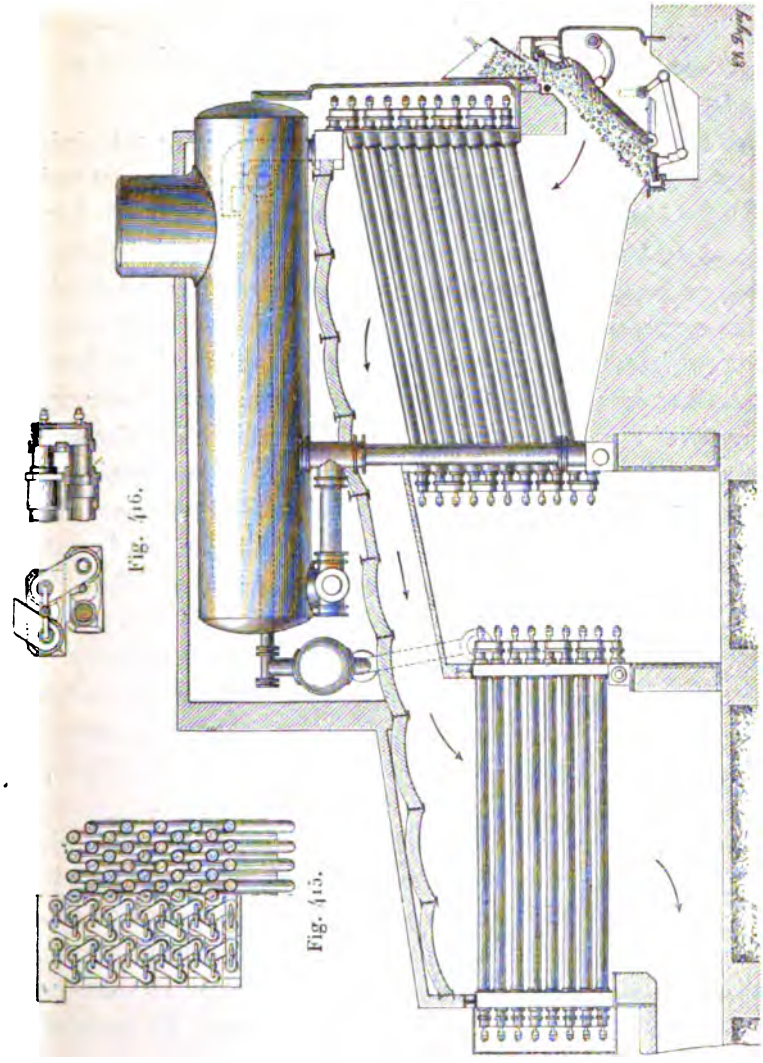


Fig. 414.

Fig. 415.

Fig. 416.

parer une série verticale d'éléments de Naeyer, munie de ses boîtes de réunion à un serpentin allongé dont toutes les spires communiquent entre elles à leurs deux extrémités. Un certain

nombre de ces serpentins juxtaposés constituent le faisceau vaporisateur de la chaudière.

Chacune des séries de ce faisceau est reliée à sa partie inférieure, au distributeur d'eau d'alimentation et, à son sommet, au collecteur de vapeur, qui est disposé à l'avant du fourneau et se raccorde au réservoir général de vapeur par une tubulure de grande section.

Les tubes composant les éléments vaporisateurs ont généralement 120 millimètres de diamètre et leur longueur peut varier de 3 à 5 mètres. A partir de $3^{m},50$ et au delà, les tubes de chaque élément sont munis, en un point déterminé de leur longueur, de pièces rectangulaires métalliques ayant même largeur et même hauteur que les caisses d'extrémité. Ces pièces viennent se superposer ou s'accoler, et lorsque les éléments sont en place, forment une cloison transversale derrière laquelle les gaz du foyer, après avoir parcouru, en montant, la partie antérieure du faisceau tubulaire, doivent descendre pour se rendre à la cheminée. La partie postérieure des éléments est ainsi utilisée comme réchauffeur. On comprend qu'il soit possible d'installer, de la même façon, plusieurs cloisons ou chicanes transversales obligeant les gaz à monter et descendre un certain nombre de fois avant de quitter la chaudière. Ces dispositions de chicanes se retrouvent également dans d'autres types de générateurs multitubulaires.

On peut faire varier les dimensions des tubes, le nombre des séries et celui des éléments qui composent ces dernières, et modifier ainsi à volonté la puissance des chaudières.

La fabrication des éléments comporte des soins particuliers. Les deux tubes de chaque élément sont d'abord assemblés à joint conique dans les caisses rectangulaires qui les réunissent, et ce, à l'aide d'une pression de 80 kilogr. par cmq. Ils sont ensuite mandrinés, et leurs extrémités sont rabattues de manière à former un bourrelet qui consolide l'assemblage. Ils sont alors essayés à une pression hydraulique de 40 kilogr.

Les caisses sont rabotées sur leurs tranches et viennent s'appliquer exactement l'une contre l'autre en formant, par leur rapprochement, les parois d'avant et d'arrière des fourneaux. Les

joints des caisses et des boîtes de réunion (fig. 416) sont effectués au moyen de bagues à double cône qui pénètrent, à joints précis, dans les pièces à assembler.

Le serrage des différentes parties, dont dépend l'étanchéité du joint est produit par des boulons dont la tête en forme de T est retenue dans une rainure pratiquée dans les faces extérieures des caisses des éléments. Chaque boulon traverse une arcade dont les extrémités viennent presser sur les deux boîtes de réunion voisines. Les joints sont obtenus par le contact direct de surfaces métalliques coniques, sans interposition d'aucun mastic. Ils tendent à se resserrer d'eux-mêmes à chaud, puisque le boulon de serrage reste relativement froid tandis que les bagues et chapeaux se dilatent sous l'action de la température élevée du liquide qui les traverse. Les joints peuvent être démontés et remontés à volonté sans donner lieu à des fuites; il faut seulement prendre soin de ne pas gripper les surfaces en contact. Chaque chapeau de réunion est maintenu par deux arcades, ce qui augmente la sécurité; en outre, les portes d'avant et d'arrière du fourneau servent d'écrans qui, en cas d'accident, arrêteraient toute pièce venant à être projetée.

Nous avons vu, sur une chaudière de Naeyer en pression, les boîtes de réunion des éléments rester en place après l'enlèvement des boulons qui les maintenaient; il fallait recourir à l'emploi d'un levier pour les arracher. L'eau était alors projetée, sans explosion, par les ouvertures ainsi dégagées, et la vapeur s'échappait ensuite. Cette expérience a été plusieurs fois répétée et les résultats ont toujours été aussi concluants.

A l'avant et au bas du faisceau tubulaire, l'orifice de gauche n'étant pas utile à la communication des éléments entre eux, on le ferme par un bouchon simple avec bague à joints coniques.

La grille du foyer a généralement deux mètres de longueur, sa largeur est égale à celle du faisceau tubulaire.

Les parois latérales du fourneau sont en maçonnerie et pourvues des portes nécessaires au nettoyage extérieur des tubes. La disposition en quinconce des divers éléments oblige les gaz du foyer à contourner les tubes. En outre, les chicanes placées entre

ceux-ci, forcent les gaz à circuler alternativement vers l'arrière et vers l'avant du faisceau tubulaire avant de quitter la chaudière. De plus, dans les appareils à longs tubes et à chicanes verticales, les gaz chauds montent et descendent alternativement pour franchir ces obstacles et se rendre à la cheminée.

L'alimentation de la chaudière de Naeyer s'effectue dans le réservoir de vapeur, lequel se trouve en partie rempli d'eau ; il est pourvu d'une poche spéciale rivée contre sa paroi inférieure et non représentée sur la figure. Cette cavité est destinée à recueillir les dépôts boueux résultant de ce que l'alimentation est directement faite dans le réservoir de vapeur. L'eau d'alimentation circule d'abord dans un tube plongé dans le liquide du réservoir et chauffé par celui-ci. Elle vient ensuite se déverser au débouché du tuyau d'amenée de la vapeur produite dans le faisceau tubulaire. Son échauffement se complète, et lorsqu'elle vient se mélanger avec le liquide à haute température contenu dans le réservoir de vapeur, elle abandonne les matières salines qu'elle tenait en dissolution. Celles-ci, entraînées par l'eau qui se rend au collecteur d'alimentation, se rassemblent dans la poche inférieure d'où on les extrait, de temps à autre, par la manœuvre d'un robinet.

Le niveau de l'eau est maintenu à mi-hauteur du cylindre supérieur. Il en résulte que les tubes sont entièrement remplis d'eau, ce qui tend à assurer leur conservation et présente certains avantages au point de vue de la puissance de vaporisation, de la stabilité et de la régularité de production de vapeur. L'eau chaude, en grande partie débarrassée de ses impuretés, descend dans le distributeur d'alimentation par les deux tuyaux latéraux qui mettent celui-ci en communication avec le réservoir supérieur. Elle remonte dans le canal d'arrière de chaque série d'éléments et se distribue à la fois dans tous les tubes, qu'elle parcourt en se vaporisant. La vapeur produite et l'eau qui l'accompagne se rendent dans les canaux d'avant, passent dans le collecteur transversal et finalement rentrent dans le corps cylindrique supérieur.

Il est facile de voir, d'après la disposition même de la chaudière, que la vapeur formée en un point quelconque peut se

rendre directement au collecteur sans avoir à parcourir successivement les différents tubes et que, de plus, pour aller du réservoir au collecteur en passant par le faisceau tubulaire, le parcours effectué a toujours sensiblement la même longueur, quel que soit le chemin suivi. La prise de vapeur s'effectue sur le dôme qui surmonte la chambre de vapeur.

L'enlèvement des incrustations qui se sont déposées à l'intérieur des tubes s'opère en démontant les joints des boîtes de réunion. Les deux extrémités des éléments étant alors complètement dégagées, on peut passer dans les tubes un grattoir à fourche dont les deux branches forment ressort, et dont les extrémités recourbées d'équerre sont taillées en biseau. On lave ensuite avec une lance à eau..

Le nettoyage extérieur se fait à l'aide d'un jet de vapeur qui entraîne les dépôts de suie. La lance à vapeur est introduite soit par des portes latérales ménagées à cet effet, soit par les vides triangulaires existant entre les éléments voisins, dont les arêtes supérieures ont été coupées en chanfrein.

Si l'on a besoin de remplacer un élément quelconque, la substitution s'opère très rapidement. Il suffit de démonter les pièces de jonction de l'élément intéressé et de soulever légèrement les caisses d'extrémité voisines; on peut alors très facilement sortir l'élément à changer et en glisser un autre à la place.

Dans certains cas, pour répondre aux exigences administratives concernant la capacité des chaudières, suivant leur emplacement et la pression normale de la vapeur qu'elles fournissent, on est amené à réduire le plus possible le réservoir de vapeur. On le dispose alors transversalement, et on conserve le niveau de l'eau aux deux tiers environ de la hauteur du faisceau tubulaire, mesurée à l'avant de la chaudière.

On place sous le ciel du fourneau deux étages de tubes surchauffeurs que le règlement autorise à ne pas compter dans le calcul de la capacité du générateur. D'ordinaire, les surchauffeurs sont établis de telle façon que la vapeur circule successivement dans un certain nombre de tubes disposés en serpentins et pénètre ensuite dans la conduite générale de distribution.

Les chaudières de Naeyer ont, depuis leur apparition, reçu de très nombreuses applications dans les diverses branches de l'industrie. Un groupe très important de ces chaudières a fonctionné pendant toute la durée de l'Exposition Universelle de 1889.

733. Nous avons représenté dans la coupe longitudinale de la chaudière (fig. 414) un foyer spécial du système **Herrmann et Cohen**, également applicable d'ailleurs à d'autres types de générateurs.

Ce foyer, à alimentation continue, se charge par une trémie; son fonctionnement repose sur les principes suivants :

1° Distillation préalable du charbon et mélange de l'air et des produits de la distillation.

2° Combustion immédiate des éléments gazeux au fur et à mesure de leur production.

3° Enfin, combustion du coke, résidu de la distillation du combustible.

Le foyer comprend deux grilles inclinées mobiles, se faisant suite, et une petite grille de pied, servant au décrassage pendant la marche, lorsque les foyers fonctionnent nuit et jour en permanence. Cette petite grille n'est pas utile pour les services intermittents. Pour l'allumage du feu, la plus grande des deux grilles inclinées peut être rabattue et placée presque horizontalement; en outre, des dispositions spéciales permettent, par un déplacement relatif des barreaux, de détacher les mâchefers.

La distillation s'opère sur la grille supérieure dont les barreaux sont coudés. Les gaz arrivent dans une chambre comprise entre la couche de combustible et une voûte réfractaire protégeant le métal de la chaudière et se mélangent avec une quantité d'air déterminée, appelée par l'effet du tirage. Ainsi préparés ils s'enflamment au contact des charbons incandescents sur lesquels ils passent et brûlent dans le foyer.

Le coke provenant de la distillation du combustible descend sur la grille inférieure, soit par son propre poids, soit sous l'action du mouvement d'oscillation que le chauffeur imprime de temps en temps à la grille supérieure, à l'aide d'un levier à main. Une cloison spéciale, disposée entre les deux grilles inclinées, permet

de régler différemment, et suivant les besoins, le volume d'air qui passe à travers chacune des grilles.

Ce foyer, quoique de construction assez récente, a déjà reçu maintes applications. Il permet, en effet, d'utiliser des combustibles menus qu'on peut se procurer relativement à bas prix; il présente les avantages de l'alimentation continue, de la fumivorité et de plus sa conduite est facile. L'introduction d'air à travers les grilles peut être réglée indépendamment pour chacune d'elles. Le combustible en ignition se trouve éloigné du métal de la chaudière, ce qui constitue une garantie précieuse pour la conservation des parties qui étaient exposées au coup de feu, lorsqu'on se servait des grilles ordinaires.

734. La chaudière Lagosse et Bouché diffère peu du générateur de Naeyer, cependant elle présente certaines particularités intéressantes. Il y a deux collecteurs de vapeur et le faisceau tubulaire est divisé en deux parties parallèles et superposées. Celles-ci sont séparées à l'avant par le premier collecteur en communication directe avec celui qui surmonte le faisceau tubulaire, de sorte que la vapeur formée dans les éléments inférieurs se rend au réservoir de vapeur sans passer par les boîtes de réunion des éléments supérieurs. De même il y a à l'arrière deux distributeurs d'eau d'alimentation. Ces dispositions facilitent le dégagement de la vapeur produite dans le faisceau tubulaire et sont favorables à l'alimentation des éléments.

Un réchauffeur est placé sur le côté du fourneau, et en contrebas d'un sécheur ou surchauffeur que traverse la vapeur avant d'être utilisée.

735. La chaudière Babcock et Wilcox (fig. 417-418) comprend: une série d'éléments verticaux identiques juxtaposés, dont l'ensemble constitue le faisceau tubulaire dans lequel s'effectue la vaporisation; un corps cylindrique inférieur, placé transversalement à l'arrière du foyer; et, enfin, un réservoir supérieur cylindrique, en partie rempli d'eau, et surmonté d'un autre cylindre de même longueur mais de diamètre moindre, servant de chambre de vapeur.

descend dans les compartiments de gauche de chacun des barillets, traverse simultanément les éléments où elle est vaporisée, et en ressort dans le compartiment de droite à l'état de mélange de vapeur et d'eau; les fenêtres percées dans la cloison du barillet permettent au liquide de repasser dans le compartiment de gauche et de rentrer dans les éléments pour recommencer sa circulation.

Au sortir des tubes de dégagement, la vapeur vient frapper contre une sorte de gouttière renversée qui arrête encore une certaine quantité de l'eau entraînée; la prise de vapeur s'effectue au sommet d'un dôme divisé en deux parties par une cloison métallique perforée disposée horizontalement. Quelquefois on remplace cette cloison par un appareil à cascade formé par une boîte cylindrique placée dans le dôme et dans laquelle débouche le tuyau de prise de vapeur; celle-ci arrive au centre de l'appareil par la partie supérieure et ne peut en sortir qu'après avoir contourné une série de chicanes; dans ce parcours elle achève de se débarrasser de l'eau entraînée qui retourne à la chaudière.

MM. Bourgois et Lencauchez munissent parfois leur chaudière de deux cylindres verticaux placés en avant et de chaque côté du foyer; l'un d'eux sert à régler l'alimentation au moyen d'un flotteur qui agit sur le robinet de distribution de vapeur de la pompe alimentaire ou de l'injecteur; l'autre constitue un appareil d'épuration sur le fonctionnement duquel nous reviendrons plus tard et porte en outre les appareils réglementaires et accessoires.

739. MM. Terme et Deharbe construisent une chaudière dont le principe et les dispositions générales rappellent la précédente. La principale différence réside dans la constitution des éléments primordiaux du faisceau tubulaire; ceux-ci, en effet, au lieu de se composer d'un tube d'aller et d'un tube de retour, comprennent chacun trois tuyaux dont deux servent au retour du mélange de vapeur et d'eau.

Les collecteurs sont également en fer forgé et munis d'entretoises, mais ils ne sont pas cloisonnés. En outre un distributeur d'alimentation, placé à l'avant du fourneau, au-dessus de la

des collecteurs, en avant desquels sont disposées deux portes en métal. Les trois autres côtés sont construits en maçonnerie et une ouverture réservée sur la paroi d'arrière permet de visiter facilement les bouchons d'extrémité des vaporisateurs.

La chaudière est remplie d'eau jusqu'à mi-hauteur du réservoir de vapeur dans lequel se fait l'alimentation. Cette eau descend dans la capacité antérieure du collecteur, passe dans le tube intérieur qui est un peu plus court que le vaporisateur, et pénètre dans ce dernier. Elle s'y vaporise en partie, remonte dans le second compartiment des collecteurs et se rend dans le réservoir cylindrique supérieur. La vapeur, avant d'être utilisée, parcourt la série des tubes sécheurs qui permettent de vaporiser l'eau entraînée ou de surchauffer la vapeur. Pour donner de la stabilité aux éléments, on a réuni deux séries de vaporisateurs sur un même collecteur; pour faciliter l'extraction des dépôts boueux qui peuvent s'accumuler à la base des collecteurs, ceux-ci sont percés de deux trous à même hauteur qui servent à les mettre en communication avec leurs voisins par un chapeau creux, assemblé à joints coniques. Les deux orifices d'extrémité qui restent libres sont pourvus chacun d'un robinet de purge placé à portée du chauffeur et qu'il ouvre à volonté.

Pour empêcher la projection des tampons d'avant, en cas de rupture d'un tirant, des armatures de sûreté à lunettes sont fixées sur la face antérieure de chaque collecteur.

738. Chaudière Bourgois et Lencauchez. — Cette chaudière, représentée figures 422, 423, se compose essentiellement d'un corps cylindrique supérieur formant réservoir de vapeur, disposé en travers et à l'avant du fourneau dont il occupe toute la largeur, et de tubes vaporisateurs répartis en faisceaux verticaux dont le nombre varie suivant l'importance de l'appareil; l'eau remplit la chaudière jusqu'au milieu du corps cylindrique environ.

Chaque faisceau comprend lui-même une série d'éléments bouilleurs superposés tous semblables, formés chacun de deux tubes inclinés en sens contraire, placés dans deux plans verti-

tubes vaporisateurs est fermée par un bouchon en métal, retenu au moyen d'un boulon-tirant qui maintient également les tubes vaporisateurs et les tampons de fermeture des orifices du collecteur.

Un faisceau de tubes surchauffeurs désignés sous le nom de sécheurs est placé horizontalement, sous le ciel du fourneau.

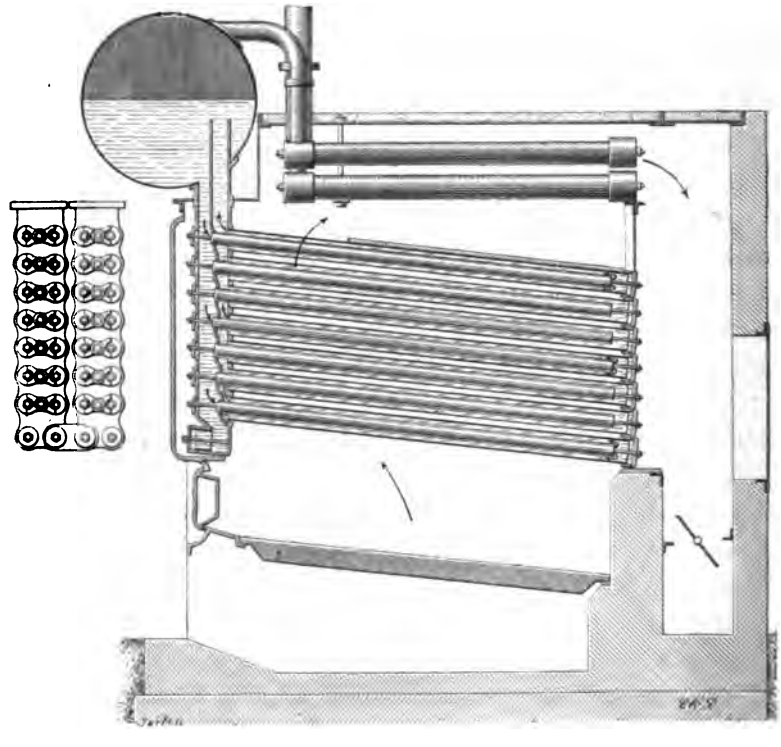


Fig. 420-421.

La grille occupe toute la base du faisceau vaporisateur. Les gaz du foyer montent à travers les intervalles existant entre les tubes, viennent passer par une ouverture réservée entre les colecteurs et une chicane qui recouvre les trois quarts environ de la longueur des vaporisateurs. Ils circulent ensuite au contact des tubes sécheurs et redescendent à l'arrière de la chaudière pour se rendre à la cheminée.

La paroi antérieure du fourneau est formée par l'ensemble

des collecteurs, en avant desquels sont disposées deux portes en métal. Les trois autres côtés sont construits en maçonnerie et une ouverture réservée sur la paroi d'arrière permet de visiter facilement les bouchons d'extrémité des vaporisateurs.

La chaudière est remplie d'eau jusqu'à mi-hauteur du réservoir de vapeur dans lequel se fait l'alimentation. Cette eau descend dans la capacité antérieure du collecteur, passe dans le tube intérieur qui est un peu plus court que le vaporisateur, et pénètre dans ce dernier. Elle s'y vaporise en partie, remonte dans le second compartiment des collecteurs et se rend dans le réservoir cylindrique supérieur. La vapeur, avant d'être utilisée, parcourt la série des tubes sécheurs qui permettent de vaporiser l'eau entraînée ou de surchauffer la vapeur. Pour donner de la stabilité aux éléments, on a réuni deux séries de vaporisateurs sur un même collecteur; pour faciliter l'extraction des dépôts boueux qui peuvent s'accumuler à la base des collecteurs, ceux-ci sont percés de deux trous à même hauteur qui servent à les mettre en communication avec leurs voisins par un chapeau creux, assemblé à joints coniques. Les deux orifices d'extrémité qui restent libres sont pourvus chacun d'un robinet de purge placé à portée du chauffeur et qu'il ouvre à volonté.

Pour empêcher la projection des tampons d'avant, en cas de rupture d'un tirant, des armatures de sûreté à lunettes sont fixées sur la face antérieure de chaque collecteur.

738. Chaudière Bourgois et Lencauchez. — Cette chaudière, représentée figures 422, 423, se compose essentiellement d'un corps cylindrique supérieur formant réservoir de vapeur, disposé en travers et à l'avant du fourneau dont il occupe toute la largeur, et de tubes vaporisateurs répartis en faisceaux verticaux dont le nombre varie suivant l'importance de l'appareil; l'eau remplit la chaudière jusqu'au milieu du corps cylindrique environ.

Chaque faisceau comprend lui-même une série d'éléments bouilleurs superposés tous semblables, formés chacun de deux tubes inclinés en sens contraire, placés dans deux plans verti-

tubes vaporisateurs est fermée par un bouchon en métal, retenu au moyen d'un boulon-tirant qui maintient également les tubes vaporisateurs et les tampons de fermeture des orifices du collecteur.

Un faisceau de tubes surchauffeurs désignés sous le nom de sécheurs est placé horizontalement, sous le ciel du fourneau.

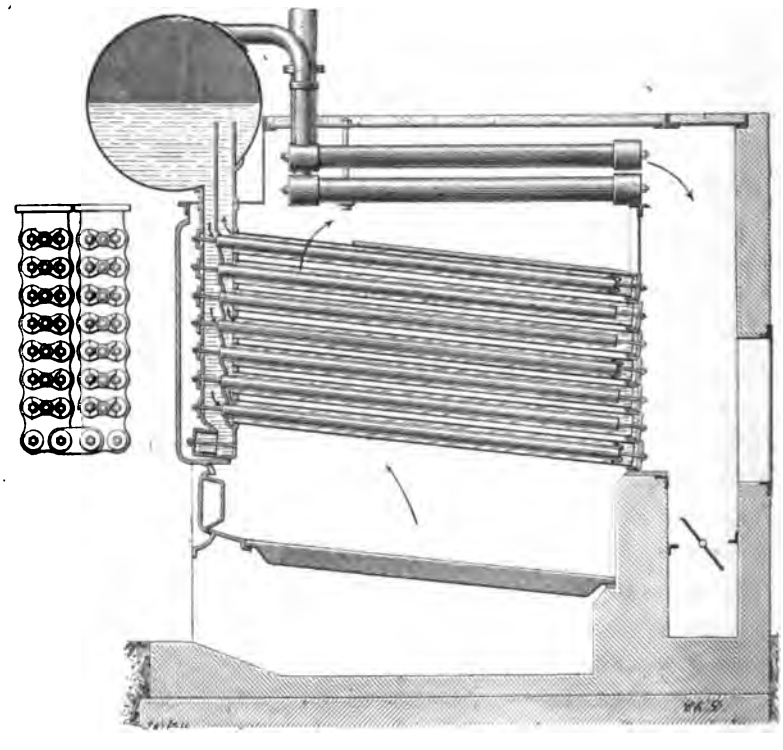


Fig. 420-421.

La grille occupe toute la base du faisceau vaporisateur. Les gaz du foyer montent à travers les intervalles existant entre les tubes, viennent passer par une ouverture réservée entre les colecteurs et une chicane qui recouvre les trois quarts environ de la longueur des vaporisateurs. Ils circulent ensuite au contact des tubes sécheurs et redescendent à l'arrière de la chaudière pour se rendre à la cheminée.

La paroi antérieure du fourneau est formée par l'ensemble

des gaz chauds avec les tubes, on dispose des cloisons, composées de briques réfractaires encastrées dans des formes en métal, qui obligent les gaz à monter et à descendre plusieurs fois autour du faisceau tubulaire avant de se rendre à la cheminée.

L'alimentation se fait dans le gros corps cylindrique placé au-dessus du faisceau tubulaire. L'eau descend par les boîtes d'arrière des éléments, passe à l'intérieur des tubes bouilleurs où elle se vaporise en partie et se rend dans les collecteurs d'avant. L'eau et la vapeur produite montent directement dans le gros corps cylindrique, où les deux fluides se séparent, et la vapeur gagne enfin le réservoir supérieur.

Le fourneau est pourvu de toutes les ouvertures nécessaires pour permettre le nettoyage.

Les dépôts de cendre ou de suie qui se forment sur les tubes sont enlevés à l'aide du jet d'une lance à vapeur.

On peut d'ailleurs très facilement visiter l'intérieur des tubes et les débarrasser, s'il y a lieu, des incrustations en démontant les bouchons autoclaves placés à leurs extrémités.

736. Chaudière Roser. — Cet appareil (fig. 419) comprend : un certain nombre d'éléments inclinés, placés côte à côte dans des plans verticaux parallèles; un cylindre inférieur disposé transversalement, nommé déjecteur; un réservoir de vapeur, placé au-dessus du fourneau et formé de deux cylindres de même diamètre assemblés en T; et, enfin, une série de tubes sécheurs ou surchauffeurs établis au-dessus du faisceau tubulaire.

Un élément est formé de tubes vaporisateurs parallèles disposés dans un même plan, assemblés à chaque extrémité dans une caisse ou collecteur en fer perpendiculaire à leur direction et dont la section est rectangulaire. Dans chacun des tubes vaporisateurs est disposé concentriquement un tuyau d'un diamètre plus petit dont les deux bouts sont ouverts et assemblés à joint étanche sur la face extérieure des collecteurs qu'il traverse.

A cet effet ce tuyau est muni, à chacune de ses extrémités, d'une bague rapportée et alésée coniquement; du côté de l'arrière de la chaudière cette bague porte une partie filetée sur laquelle peut se visser un large écrou hexagonal.

descend dans les compartiments de gauche de chacun des barillets, traverse simultanément les éléments où elle est vaporisée, et en ressort dans le compartiment de droite à l'état de mélange de vapeur et d'eau; les fenêtres percées dans la cloison du barillet permettent au liquide de repasser dans le compartiment de gauche et de rentrer dans les éléments pour recommencer sa circulation.

Au sortir des tubes de dégagement, la vapeur vient frapper contre une sorte de gouttière renversée qui arrête encore une certaine quantité de l'eau entraînée; la prise de vapeur s'effectue au sommet d'un dôme divisé en deux parties par une cloison métallique perforée disposée horizontalement. Quelquefois on remplace cette cloison par un appareil à cascade formé par une boîte cylindrique placée dans le dôme et dans laquelle débouche le tuyau de prise de vapeur; celle-ci arrive au centre de l'appareil par la partie supérieure et ne peut en sortir qu'après avoir contourné une série de chicanes; dans ce parcours elle achève de se débarrasser de l'eau entraînée qui retourne à la chaudière.

MM. Bourgois et Lencauchez munissent parfois leur chaudière de deux cylindres verticaux placés en avant et de chaque côté du foyer; l'un d'eux sert à régler l'alimentation au moyen d'un flotteur qui agit sur le robinet de distribution de vapeur de la pompe alimentaire ou de l'injecteur; l'autre constitue un appareil d'épuration sur le fonctionnement duquel nous reviendrons plus tard et porte en outre les appareils réglementaires et accessoires.

739. MM. Terme et Deharbe construisent une chaudière dont le principe et les dispositions générales rappellent la précédente. La principale différence réside dans la constitution des éléments primordiaux du faisceau tubulaire; ceux-ci, en effet, au lieu de se composer d'un tube d'aller et d'un tube de retour, comprennent chacun trois tuyaux dont deux servent au retour du mélange de vapeur et d'eau.

Les collecteurs sont également en fer forgé et munis d'entretoises, mais ils ne sont pas cloisonnés. En outre un distributeur d'alimentation, placé à l'avant du fourneau, au-dessus de la

porte du foyer, communique avec chacun des grands collecteurs d'arrière par deux tubes dont l'ensemble forme la rangée inférieure du faisceau tubulaire.

Les joints des tubes avec les collecteurs d'arrière et les boîtes de communication d'avant sont réalisés d'une manière très satisfaisante : les extrémités sont pourvues d'un renflement et tournées en forme de cône ; elles sont percées de fenêtres dans lesquelles viennent s'engager des boulons à étrier qui maintiennent les joints coniques des tubes et les bouchons extérieurs des collecteurs et des boîtes antérieures de réunion.

740. Chaudière Oriolle. — Cette chaudière se compose d'un grand nombre de tubes vaporisateurs parallèles inclinés, placés en quinconce et disposés normalement à deux caisses de section rectangulaire qui forment les parois d'avant et d'arrière du foyer et contiennent une véritable lame d'eau. Les deux larges faces planes d'une même caisse sont reliées par un grand nombre d'entretoises vissées dans le métal.

La lame d'eau d'avant est en communication par le haut avec un réservoir de vapeur et celle d'arrière est reliée par le bas au même réservoir à l'aide d'un tube de grand diamètre.

Les tubes vaporisateurs ont une pente de $0^m,10$ à $0^m,20$ par mètre, suivant leur longueur et leur diamètre. Leur écartement est variable, il est de 40 millimètres dans les rangs inférieurs et diminue progressivement de façon à n'être plus que de 17 millimètres à la partie supérieure. Les faces extérieures des lames d'eau sont pourvues d'orifices fermés par des autoclaves et correspondant à chacun des tubes du faisceau vaporisateur. Ces bouchons sont introduits par des ouvertures pratiquées sur les petits côtés des caisses et munies elles-mêmes de tampons autoclaves. L'étrier ordinairement employé pour ce genre de fermeture est ici remplacé par une simple barre de fer plat. La grille occupe toute la base du foyer dont les parois latérales sont construites en maçonnerie pour les chaudières fixes, et sont foréems d'une double enveloppe métallique pour les chaudières marines et locomobiles.

Les gaz du foyer circulent autour du faisceau tubulaire, puis

chaudière décrite au n° 735. Les tubes présentent une pente de l'avant vers l'arrière et sont munis de cloisons pour assurer la circulation méthodique des gaz.

L'eau d'alimentation arrive dans un distributeur placé à l'arrière et en contrebas du faisceau tubulaire ; elle pénètre dans les divers éléments de ce faisceau, les traverse, se rend ensuite dans un collecteur général et est enfin distribuée aux chaudières desservies par le réchauffeur.

On a pu voir deux de ces appareils fonctionner à l'Exposition universelle de 1889 ; l'un desservait une batterie de deux chaudières Babcock et Wilcox, entre lesquelles il était placé ; l'autre complétait une chaudière semi-tubulaire à foyer extérieur du genre de celle décrite (n° 717) dans laquelle il remplaçait les réchauffeurs cylindriques que nous avons représentés.

748. Economiser Green. — Cet appareil (fig. 428-429) est très employé en Angleterre, et aussi en Alsace où, dans les installations nouvelles, on prévoit au moins son établissement ultérieur quand, ce qui est assez rare, on ne le monte pas immédiatement.

Il est formé par la réunion d'un nombre variable d'éléments identiques, composés chacun de tubes verticaux en fer de $0^m,12$ de diamètre extérieur et de $2^m,65$ de longueur utile, réunis en haut et en bas par des caisses transversales en fonte auxquelles ils sont assemblés par des joints coniques dont le serrage est obtenu au moyen de la presse hydraulique.

Les caisses inférieures sont toutes reliées à un collecteur distributeur d'eau froide d'alimentation, tandis que celles du haut débouchent dans un collecteur d'eau chaude. Ces deux collecteurs figurent deux arêtes diagonalement opposées du parallélipipède formé par l'economiser ; ils sont constitués, soit par un tuyau unique, soit par une série de pièces en forme de T assemblées les unes à la suite des autres.

Nous avons dit que les tubes verticaux étaient raccordés à joint conique dans les pièces transversales qui les réunissent. Afin de permettre, au besoin, le remplacement des tubes, la face supérieure de la pièce de jonction du haut est percée d'orifices ou regards de diamètre supérieur à celui des tubes et par lesquels

On a également appliqué des tubes Field au ciel du foyer de certaines chaudières fixes à grand et à moyen volume, pour en augmenter la surface de chauffe.

Le dôme de vapeur est constitué par le prolongement de l'enveloppe cylindrique qui contient la caisse du foyer et forme ainsi une vaste chambre au point même où la vaporisation est le plus abondante.

743. Chaudière Thirion. — Analogue à la précédente par son fonctionnement, cette chaudière (fig. 427) en diffère principalement par la disposition des tubes bouilleurs; ceux-ci sont verticaux et recourbés en U; l'eau y descend par l'une des branches, se vaporise en partie, et le fluide mixte composé d'eau et de vapeur remonte par l'autre branche.

Ces tubes sont placés dans des plans verticaux. Un tampon suspendu dans l'espace resté libre au milieu du faisceau empêche, comme dans la chaudière Field, les gaz de s'échapper directement par la cheminée. Les tubes sont en cuivre et simplement mandrinés dans le ciel du foyer.

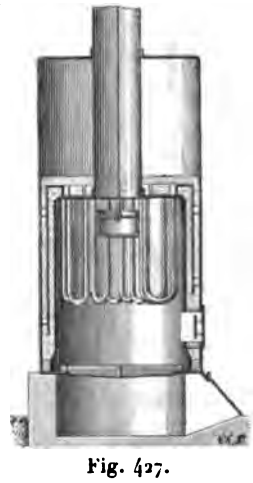


Fig. 427.

M. Thirion ajoute à sa chaudière un dispositif destiné à faciliter le renouvellement de l'eau au contact de la paroi verticale de la boîte à feu. A cet effet il place dans la masse d'eau et tout autour du cylindre intérieur une série de gouttières verticales à section rectangulaire dont les bords viennent s'appliquer contre la tôle du foyer de manière à former des conduits destinés à guider la vapeur qui se dégage. L'ensemble de ces conduits divise l'espace annulaire de la chaudière en deux zones ; l'une, extérieure, sert à la descente de l'eau et l'autre, adjacente au foyer, sert au dégagement de la vapeur.

De nombreuses pompes à incendie sont munies de cette chaudière.

M. Durenne construit une chaudière du même type, mais dans

de manière à se superposer de deux en deux. Le niveau de l'eau est maintenu au-dessous des trois rangées supérieures.

Pendant la marche, la vapeur produite dans le faisceau tubulaire se rend, par suite de l'inclinaison des tubes dans le cylindre central où est établi à hauteur convenable un diaphragme horizontal qui le partage en deux parties inégales. La vapeur ne peut gagner la capacité supérieure qu'en traversant successivement en sens contraire les rangées supérieures de tubes. Cette disposition a pour but de sécher la vapeur avant son utilisation.

Ce générateur présente certains détails de construction particuliers : ainsi les parois verticales ne sont pas rivées aux fonds, mais seulement engagées dans des rainures et retenues par le serrage de boulons qui traversent les cylindres de part en part. On rend les joints étanches en interposant entre les pièces à réunir des bandes de carton d'amiante huilé.

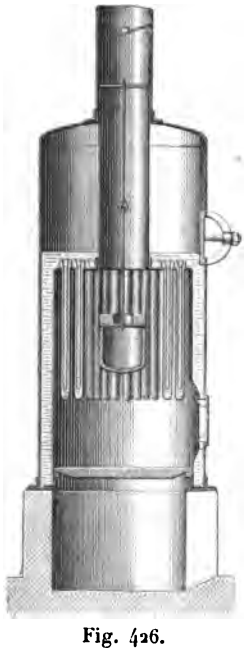


Fig. 426.

Pour opérer le nettoyage, on démonte d'abord la boîte à fumée qui surmonte l'appareil, puis l'enveloppe extérieure, et l'intérieur des tubes est alors facilement accessible.

742. Chaudière Field. — La chaudière Field (fig. 426) présente l'aspect général d'une chaudière verticale à foyer intérieur du genre de celles que nous avons précédemment décrites, seulement les bouilleurs horizontaux qui traversaient le foyer de part en part sont remplacés par des tubes pendants d'une construction spéciale et déjà indiquée (tome I, n° **418**).

Le foyer est surmonté d'une cheminée au-dessous de laquelle on suspend un bloc de fonte ou de terre réfractaire, qui, empêchant les gaz de la combustion de s'échapper directement, les rejette vers la circonférence et les oblige à envelopper les tubes avant de gagner la cheminée.

On a également appliqué des tubes Field au ciel du foyer de certaines chaudières fixes à grand et à moyen volume, pour en augmenter la surface de chauffe.

Le dôme de vapeur est constitué par le prolongement de l'enveloppe cylindrique qui contient la caisse du foyer et forme ainsi une vaste chambre au point même où la vaporisation est le plus abondante.

743. Chaudière Thirion. — Analogue à la précédente par son fonctionnement, cette chaudière (fig. 427) en diffère principalement par la disposition des tubes bouilleurs; ceux-ci sont verticaux et recourbés en U; l'eau y descend par l'une des branches, se vaporise en partie, et le fluide mixte composé d'eau et de vapeur remonte par l'autre branche.

Ces tubes sont placés dans des plans verticaux. Un tampon suspendu dans l'espace resté libre au milieu du faisceau empêche, comme dans la chaudière Field, les gaz de s'échapper directement par la cheminée. Les tubes sont en cuivre et simplement mandrinés dans le ciel du foyer.

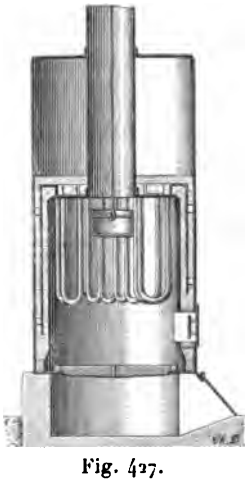


Fig. 427.

M. Thirion ajoute à sa chaudière un dispositif destiné à faciliter le renouvellement de l'eau au contact de la paroi verticale de la boîte à feu. A cet effet il place dans la masse d'eau et tout autour du cylindre intérieur une série de gouttières verticales à section rectangulaire dont les bords viennent s'appliquer contre la tôle du foyer de manière à former des conduits destinés à guider la vapeur qui se dégage. L'ensemble de ces conduits divise l'espace annulaire de la chaudière en deux zones ; l'une, extérieure, sert à la descente de l'eau et l'autre, adjacente au foyer, sert au dégagement de la vapeur.

De nombreuses pompes à incendie sont munies de cette chaudière.

M. Durenne construit une chaudière du même type, mais dans

chaudière décrite au n° 735. Les tubes présentent une pente de l'avant vers l'arrière et sont munis de cloisons pour assurer la circulation méthodique des gaz.

L'eau d'alimentation arrive dans un distributeur placé à l'arrière et en contrebas du faisceau tubulaire ; elle pénètre dans les divers éléments de ce faisceau, les traverse, se rend ensuite dans un collecteur général et est enfin distribuée aux chaudières desservies par le réchauffeur.

On a pu voir deux de ces appareils fonctionner à l'Exposition universelle de 1889 ; l'un desservait une batterie de deux chaudières Babcock et Wilcox, entre lesquelles il était placé ; l'autre complétait une chaudière semi-tubulaire à foyer extérieur du genre de celle décrite (n° 717) dans laquelle il remplaçait les réchauffeurs cylindriques que nous avons représentés.

748. Economiser Green. — Cet appareil (fig. 428-429) est très employé en Angleterre, et aussi en Alsace où, dans les installations nouvelles, on prévoit au moins son établissement ultérieur quand, ce qui est assez rare, on ne le monte pas immédiatement.

Il est formé par la réunion d'un nombre variable d'éléments identiques, composés chacun de tubes verticaux en fer de $0^m,12$ de diamètre extérieur et de $2^m,65$ de longueur utile, réunis en haut et en bas par des caisses transversales en fonte auxquelles ils sont assemblés par des joints coniques dont le serrage est obtenu au moyen de la presse hydraulique.

Les caisses inférieures sont toutes reliées à un collecteur distributeur d'eau froide d'alimentation, tandis que celles du haut débouchent dans un collecteur d'eau chaude. Ces deux collecteurs figurent deux arêtes diagonalement opposées du parallélipipède formé par l'economiser ; ils sont constitués, soit par un tuyau unique, soit par une série de pièces en forme de T assemblées les unes à la suite des autres.

Nous avons dit que les tubes verticaux étaient raccordés à joint conique dans les pièces transversales qui les réunissent. Afin de permettre, au besoin, le remplacement des tubes, la face supérieure de la pièce de jonction du haut est percée d'orifices ou regards de diamètre supérieur à celui des tubes et par lesquels

on introduit ces derniers. Ces orifices sont ensuite fermés par des bouchons retenus à l'aide de boulons à étrier.

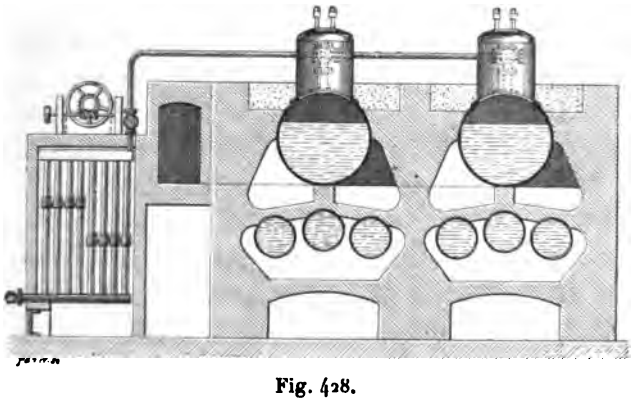


Fig. 428.

Lorsqu'un tube d'economiser Green est avarié, on le remplace généralement sans démonter l'élément auquel ce tube appartient.

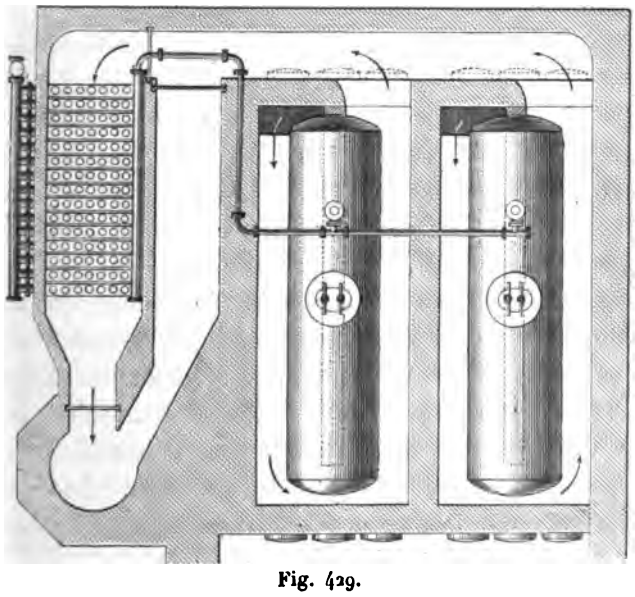


Fig. 429.

Il suffit d'ouvrir le regard correspondant du collecteur supérieur et de retirer le tube, après l'avoir convenablement entaillé ou coupé. On introduit ensuite le tube de rechange dont on en-

fonce à force l'extrémité conique dans la tubulure du collecteur inférieur. On est ensuite obligé de faire le joint du tube et du collecteur supérieur au mastic de fonte, ce qui n'est pas sans inconvénients. En raison des nombreux joints que présentent les economisers, leur construction a besoin d'être soignée, sinon ces appareils donneraient presque toujours lieu à des fuites.

Les tubes des economisers sont pourvus de râcloirs extérieurs animés d'un mouvement de va-et-vient, afin de détacher la suie et de maintenir constamment à nu les parois métalliques. Ce nettoyage incessant facilite la transmission de la chaleur.

Pour maintenir l'appareil en bon état de fonctionnement, il est nécessaire de le visiter au moins une fois chaque année pour remettre les râcloirs en état de service et détacher la suie qui les encrasse et peut entraver leur fonctionnement. Cette nécessité s'impose surtout en Alsace, où l'on emploie les houilles excessivement fumeuses de Saarbrück.

Lorsque l'economiser est en fonction, l'eau froide arrive par le bas des tubes et l'eau chauffée sort par le collecteur supérieur à des températures variables qui dépassent parfois 150°.

Lorsque l'alimentation se fait avec des eaux calcaires ou boueuses, il faut avoir soin de faire des extractions de temps en temps, au moins tous les huit jours. Les dépôts qui se sont attachés aux parois intérieures des tubes s'enlèvent généralement avec un appareil spécial, livré par le constructeur.

La corrosion des tubes ne se produit, d'ordinaire, que dans les installations où les gaz sortent de l'economiser à une température inférieure à 120°; en outre pour conserver un bon tirage (**423**) il est nécessaire que les gaz de la combustion ne soient pas trop refroidis. On a donc un double motif pour maintenir au-dessus de 120° la température des gaz chauds se rendant à la cheminée.

Si nous nous plaçons dans les conditions indiquées (**395**) nous voyons que, pour une chaudière dont la surface de chauffe totale est 20 fois la surface de la grille, l'addition de réchauffeurs avec chauffage méthodique ayant 18 fois cette surface, élève le rendement de 0,539 à 0,660, c'est-à-dire qu'elle l'augmente de 22,4 p. 100.

En pratique, pour déterminer la surface de chauffe qu'il convient de donner à l'economiser, on constate la température des gaz à la sortie de la chaudière. Dans le plus grand nombre de cas, cette constatation se fait très simplement, même sans qu'il soit besoin de recourir à l'emploi du thermomètre ; on se contente de reconnaître si l'étain, le plomb ou le zinc fondent dans le carneau. Le point de fusion de l'étain est 228°, celui du plomb 332°, et celui du zinc 423°. Le renseignement ainsi obtenu sert de guide pour déterminer la surface de chauffe qu'il convient de donner à l'economiser. Si le zinc fond au contact des gaz chauds, on compte généralement $1^{mq},5$ ou un tube et demi d'economiser Green par mètre carré de surface effective de la chaudière ; s'il résiste et que le plomb entre en fusion, on prend $1^{mq},25$, et dans le cas où l'étain seul est fondu, il suffit de 1^{mq}. Au-dessous d'une température de 200°, il y a peu d'intérêt à établir des economisers, les frais d'installation sont trop élevés relativement au résultat obtenu.

Les données fournies ci-dessus montrent que l'augmentation de surface indiquée (**395**) se trouve dépassée dans les applications. Ceci n'a rien qui doive nous surprendre, et résulte de ce que, dans les economisers, la circulation n'est pas absolument méthodique ; et les considérations exposées (**391** et suivants) montrent que pour obtenir le même effet avec deux appareils dont l'un est à circulation méthodique et l'autre ne l'est pas, il faut pour le second augmenter la surface de chauffe dans des proportions souvent énormes et parfois même irréalisables. Malgré cette imperfection relative, les economisers donnent des résultats économiques très satisfaisants.

D'après les renseignements qu'a bien voulu nous communiquer à ce sujet M. Walther-Meunier, le rendement total des générateurs auxquels on ajoute ces appareils est augmenté de 20 à 25 p. 100, lorsque les gaz chauds arrivent dans l'économiser à une température de 300° ou au delà ; de 15 à 18 p. 100, lorsque leur température se rapproche de 250°, et de 12 à 15 p. 100 si elle est voisine de 200°.

749. Les economisers des divers systèmes ont reçu de nom-

breuses applications et peuvent être considérés comme le complément indispensable d'un grand nombre d'installations de chaudières à vapeur.

L'interprétation du règlement du 30 avril 1880 conduit l'administration des mines à exiger qu'un réchauffeur desservant plusieurs générateurs, soit isolé de chacun d'eux par un clapet de retenue d'eau d'alimentation.

Tout réchauffeur ainsi isolé est assimilé à une chaudière et doit être lui-même muni d'un manomètre, de soupapes de sûreté et d'un clapet de retenue d'alimentation.

§ VII

OBSERVATIONS.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES DIVERS SYSTÈMES DE CHAUDIÈRES.

750. Dans l'étude d'une chaudière à vapeur, de nombreux éléments sont à considérer.

Après les conditions de sécurité qui doivent venir en première ligne, il faut se préoccuper de l'utilisation du combustible, des facilités de service et d'entretien, de la stabilité de la marche, de l'entraînement de l'eau par la vapeur, du nettoyage extérieur et intérieur, du poids, de l'espace occupé, des dépenses d'installation, etc. Chacun des systèmes, que nous venons de passer en revue, a ses avantages et ses inconvénients à ces divers points de vue, et le même type ne saurait convenir dans toutes les circonstances; le choix à faire dans chaque cas dépend donc des conditions particulières à remplir.

Les chaudières à bouilleurs et à réchauffeurs, composées uniquement de cylindres à section circulaire dans lesquels la pression agit à l'intérieur sont dans d'excellentes conditions de résistance et peu sujettes aux déformations.

La construction en est des plus simples; les feuilles de tôle qui les constituent sont réunies par des rivures, c'est-à-dire par le mode d'assemblage le plus solide, qui présente peu de chances

de fuites quand il est bien exécuté et qu'on a soin de ne pas l'exposer au coup de feu.

La conduite et l'entretien de ces chaudières sont des plus faciles et elles conviennent particulièrement pour les usines éloignées d'ateliers et d'ouvriers spéciaux.

Le nettoyage des carneaux et des conduits de fumée se fait facilement quand on a eu soin de ménager des tampons et des portes de visite aux points convenables.

L'enlèvement des incrustations à l'intérieur des corps cylindriques ne présente pas non plus de sérieuses difficultés si, comme nous l'avons recommandé, les cylindres sont assez grands pour qu'un ouvrier puisse y pénétrer.

751. Un des avantages du type de chaudières à bouilleurs est la stabilité dans le fonctionnement. Les variations qui se produisent inévitablement dans la consommation de vapeur et dans l'alimentation du foyer ont moins d'action sur la pression que dans la plupart des autres systèmes de chaudières. Cette stabilité tient à la masse d'eau relativement considérable que ces générateurs renferment. Le volume d'eau qui se trouve dans une chaudière à bouilleurs est de 8 à 12 fois plus grand que celui qui est vaporisé par heure; dans ces conditions, la pression peut se maintenir d'une manière assez régulière sans nécessiter des soins incessants de la part du chauffeur.

Calculons d'une manière approximative et pour une chaudière quelconque le temps nécessaire pour que la pression tombe d'une quantité déterminée.

Soit W le poids de vapeur, en kilogrammes, à produire par heure; Wr est le nombre de calories à fournir, r étant la chaleur latente de la vapeur.

Supposons que le feu, momentanément négligé par le chauffeur, diminue d'activité et ne produise qu'une fraction n de la chaleur moyenne Wr; la température de l'eau va s'abaisser progressivement et au bout d'un certain temps z, elle sera tombée de t à t', la pression ayant baissé en proportion.

Si Q est le poids de l'eau renfermée dans la chaudière, la chaleur abandonnée par cette eau est $Q(t-t')$ et la chaudière

continuant à fournir le poids W de vapeur, on doit avoir

$$nWrz + Q(t - t') = Wrz$$

d'où

$$z = \frac{Q}{W} \frac{t - t'}{(1 - n)r}.$$

Ceci suppose que l'alimentation est interrompue pendant le temps z considéré.

Le temps du refroidissement est proportionnel au rapport $\frac{Q}{W}$ du poids de l'eau qui se trouve dans la chaudière au poids vaporisé par heure; plus ce rapport sera grand, plus il y aura de stabilité dans la marche.

En prenant $\frac{Q}{W} = 12$ et si l'activité de la combustion est réduite aux $\frac{4}{5}$, on trouve que pour abaisser la pression dans une chaudière de 6 à 5 atmosphères, soit de 159°,22 à 152°,22 (différence $t - t' = 7°$) la chaleur latente r étant de 500 calories environ, il faut un temps z donné par la relation

$$z = 12 \frac{7}{0{,}20 \times 500} = 0{,}84 \text{ soit } 50',4$$

et pour abaisser de 5 atmosphères à 4 atmosphères soit de 152°,22 à 144° (différence $t - t' = 8°,22$) il faut, comme $r = 505$

$$z = 12 \frac{8{,}22}{0{,}20 \times 505} = 0{,}97 \text{ soit } 58',2.$$

Ainsi il faudrait près d'une heure pour que dans ces conditions la pression s'abaissât de 5 à 4 atmosphères. En réalité, ce temps serait beaucoup plus long parce que la chaleur considérable accumulée dans la maçonnerie se transmet par rayonnement à la chaudière aussitôt que la température de celle-ci tend à baisser, ce qui contribue à ralentir l'abaissement de pression.

On conçoit d'après cela que des variations momentanées, même très marquées, dans le degré d'activité de la combustion, ne produisent pas d'effet très sensible sur la pression qui existe dans une chaudière à bouilleurs, ou, en général, dans une chau-

dière renfermant un grand volume d'eau; c'est un avantage marqué au point de vue de la régularité de la marche.

La grande quantité de chaleur accumulée dans l'eau et dans la maçonnerie constitue une espèce de volant de chaleur qui compense les irrégularités de la combustion et de l'alimentation.

Par contre il faut, à la mise en train, plus de temps pour monter en pression. La chaleur dégagée dans le temps z, avec une activité moyenne du foyer, étant Wrz, on aura sensiblement :

$$Wrz = Q(t - t')$$

et le temps nécessaire pour élever la température de t à t' est

$$z = \frac{Q}{W}\frac{t - t'}{r}$$

en supposant qu'on ne consomme aucune quantité de vapeur.

Si l'eau d'une chaudière s'est refroidie à 100° pendant une interruption de service, la nuit par exemple, il faudra, pour la remonter le matin à 6 atmosphères, soit à 159°22, un temps z

$z = 12 \times \frac{59,22}{500} = 1^h25'$, soit près d'une heure et demie.

Il est vrai qu'à la mise en train on peut pousser le feu plus activement, mais comme d'un autre côté il faut chauffer la maçonnerie, le temps nécessaire pour remonter en pression sera ordinairement plus long que celui donné par la formule.

Les conditions sont tout à fait différentes pour les chaudières à faible volume d'eau. Si par exemple $\frac{Q}{W} = 1$, comme dans certaines chaudières à petit volume, le temps nécessaire pour que la pression s'abaisse de 6 atmosphères à 5 atmosphères est seulement

$$z = \frac{Q}{W}\frac{t - t'}{(1 - n)r} = \frac{7}{0,20 \times 500} = 0^h,07.$$

soit environ 4',2 au lieu de 50',4 qu'il fallait avec une chaudière à bouilleurs.

Par contre, le temps nécessaire pour remonter en pression de 1 atmosphère à 6 atmosphères est

$$z = \frac{Q}{W}\frac{t-t'}{r} = \frac{59^\circ,12}{500} = 0^h,118$$

soit environ $7',08$ au lieu de $1^h25'$.

Ce temps est naturellement augmenté par suite de la nécessité d'échauffer les maçonneries du fourneau, mais il est beaucoup plus faible que pour une chaudière à bouilleurs.

Pour les chaudières tubulaires, le rapport $\frac{Q}{W}$ est souvent compris entre 3 et 5.

Le volume de la chambre de vapeur, c'est-à-dire de l'espace occupé par la vapeur au-dessus du niveau de l'eau dans la chaudière est également à considérer au point de vue du maintien de la régularité de la pression, surtout quand la prise de vapeur se fait d'une manière intermittente.

On conçoit, en effet, que si la prise de vapeur, au lieu de se faire régulièrement, s'effectue par intervalles, d'une manière brusque, et seulement pendant un dixième du temps, par exemple, comme dans certaines machines à détente, il y aura dans la chaudière, à chaque coup de piston, une variation de pression brusque mais qui sera d'autant moins sensible que le volume de vapeur en réserve sera plus grand.

Le volume de la chambre de vapeur est généralement compris entre 2,5 et 4 fois le volume d'eau vaporisé par heure. Si la chaudière est employée à alimenter une machine à détente faisant N tours par minute, le poids de vapeur pris à chaque admission est $\frac{W}{2 \times 60 \times N}$ dont le volume en litres est $\frac{1000\ W}{2 \times 60 \times N\gamma}$, γ étant le poids en kilogrammes de 1 mètre cube de vapeur, à la pression considérée.

Le volume de la chambre de vapeur étant q, et la pression baissant à chaque coup de piston à peu près dans le rapport des volumes, la variation sera $\frac{1000\ W}{q\ 120\ N\gamma}$, c'est-à-dire en raison inverse du rapport $\frac{q}{W}$, du nombre de tours N par minute et du poids spécifique γ de la vapeur.

Si on a $N = 40$, $\frac{q}{W} = 3$ et $\gamma = 2,75$, pour 5 atmosphères on trouve environ $\frac{1}{70}$ pour la variation de pression.

Cette proportion pour la chambre de vapeur paraît convenable pour éviter l'ébullition tumultueuse et l'entraînement d'eau qui résultent d'une variation trop brusque de pression.

Dans le même but, il convient de donner une étendue assez grande à la surface de dégagement des bulles de vapeur. L'ébullition sera d'autant plus calme que ce dégagement se fera sur une plus grande surface et sera mieux réparti.

En désignant par σ cette surface, par v la vitesse de dégagement de la vapeur par seconde, on a :

$$v\sigma\gamma 3600 = W.$$

Dans les chaudières à bouilleurs on a pour le rapport $\frac{W}{\sigma}$ des nombres compris entre 80 et 120; c'est-à-dire que par mètre carré de surface de niveau, il se dégage environ 100 kilos de vapeur par heure. Avec des chaudières tubulaires, ce rapport atteint et dépasse même 200 kilos.

Pour $\frac{W}{\sigma} = 100$ et $\gamma = 2,75$ correspondant à 5 atmosphères, on trouve $v = 0,011$ environ 1 centimètre. C'est le double pour les chaudières tubulaires.

Il est à remarquer que cette vitesse de dégagement de la vapeur, qui mesure en quelque sorte l'activité de l'ébullition, est en raison inverse de γ, c'est-à-dire du poids et par suite de la pression de la vapeur. Pour la même chaudière et le même foyer, et pour un même poids de vapeur produit par heure, l'ébullition est d'autant plus vive et tumultueuse que la pression est plus faible. Ceci explique pourquoi les entraînements d'eau sont plus considérables à basse qu'à haute pression.

Dans les chaudières verticales, la surface d'ébullition est relativement très réduite, et il peut se dégager jusqu'à 1000 kilos de vapeur par mètre carré. Aussi l'ébullition est-elle plus vive dans les générateurs de ce système et les entraînements d'eau

beaucoup plus à craindre. Nous reviendrons sur cette question en parlant de l'eau entraînée.

COMPARAISON ENTRE LES DIVERS TYPES DE CHAUDIÈRES.

753. Les chaudières à bouilleurs, et en général, les chaudières à foyer extérieur avec fourneaux en maçonnerie tiennent beaucoup de place et leur installation occasionne des frais accessoires de construction assez importants.

En raison de la haute température des gaz et de la grande surface offerte au refroidissement par les carneaux, il y a des pertes notables de chaleur par les parois; pertes qui, d'après les expériences de MM. Scheurer-Kestner et Meunier, s'élèveraient jusqu'à 20 et 25 p. 100. C'est une cause sérieuse d'infériorité de rendement.

Il pénètre en outre à travers les parois en briques, en raison de la grande surface qu'elles présentent, une notable quantité d'air qui refroidit les gaz de la combustion et diminue le tirage dans des proportions quelquefois fort gênantes. Dans certains cas on a été conduit à revêtir ces parois d'une enveloppe métallique pour maintenir un tirage suffisant.

Un inconvénient grave des carneaux en maçonnerie séparés par des murettes résulte de ce que la circulation des gaz de la combustion ne s'y fait pas toujours régulièrement; il suffit d'une légère fissure dans une voûte, ou dans les murettes de séparation, pour qu'une partie des carneaux et de la surface de chauffe correspondante soit presque complètement inutilisée et que, dès lors, les gaz sortent plus chauds en emportant avec eux plus de chaleur.

C'est pour toutes ces causes que le rendement des chaudières à foyer et circulation extérieurs est de 5 à 10 p. 100 moindre que celui des chaudières à foyer et à circulation intérieurs.

Enfin les parois du foyer en briques réfractaires se détruisent assez rapidement sous l'action de la chaleur, des mâchefers collants et des coups de ringard des chauffeurs, et leur entretien est assez onéreux.

La façade du foyer en maçonnerie construite autour des bouilleurs se détruit rapidement sous l'action des mouvements de dilatation des bouilleurs et exige le plus souvent un rejointoiement continuel et une reconstruction fréquente.

Avec les chaudières à foyer et à circulation complètement intérieurs du type locomotive, on n'a pas à craindre ces passages irréguliers des gaz de la combustion d'un carneau à un autre et la circulation ne peut se faire que dans des conditions parfaitement déterminées. De plus, les rentrées d'air ne sont pas possibles.

Le refroidissement extérieur est aussi moins considérable, car les gaz de la combustion sont entourés d'eau de tous côtés et ce sont les parois de la chaudière qui sont exposées au refroidissement. Or, la température de ces parois est beaucoup moins élevée que celle des gaz de la combustion et on conçoit que la perte par transmission puisse être très réduite, surtout si l'on recouvre d'une enveloppe l'extérieur de la chaudière.

Les générateurs comme ceux de Cornwall, dans lesquels la circulation des gaz s'effectue en partie à l'intérieur et en partie à l'extérieur, se trouvent à ces différents points de vue dans des conditions intermédiaires. Il faut d'ailleurs remarquer que, dans ces appareils, lorsque les gaz arrivent dans les carneaux exposés au refroidissement extérieur, leur température est déjà notablement abaissée, et que, par conséquent, la perte est moins sensible que dans les chaudières à bouilleurs ordinaires.

Les chaudières à foyer intérieur présentent en général un danger contre lequel il faut avoir grand soin de se tenir en garde. La nappe d'eau qui recouvre le ciel du foyer n'a d'ordinaire qu'une faible épaisseur et il faut constamment surveiller le niveau pour que la tôle de coup de feu ne soit jamais mise à découvert. Une négligence du chauffeur pendant un temps relativement court suffit pour que ce fait se produise ; alors la tôle, n'étant plus refroidie par l'eau, s'échauffe, rougit et se déchire si elle est de mauvaise qualité ; mais le plus souvent elle se creuse de manière à former une cloche qui remplit quelquefois toute la capacité du foyer. Cet accident est assez fréquent ; pour le prévenir, la plupart des constructeurs établis-

sent au-dessus de la chaudière un cylindre supérieur qui communique avec elle, et permet de remonter convenablement le niveau de l'eau au-dessus du foyer.

Pour éviter que la tôle de coup de feu ne soit portée au rouge lorsqu'elle vient à ne plus être baignée par l'eau, on emploie quelquefois des *bouchons fusibles* vissés dans le ciel du foyer. Chacun d'eux est percé longitudinalement d'un canal qu'on remplit de métal fusible. Si le niveau s'abaisse trop le métal entre en fusion et coule; aussitôt la vapeur s'échappe et vient éteindre le feu. Ces bouchons sont employés dans les locomotives et dans certains générateurs fixes.

Les chaudières à bouilleurs sont les moins exposées au danger que nous venons d'indiquer; le coup de feu étant à la partie la plus basse de la chaudière, il faudrait vider complètement celle-ci pour que cette tôle pût rougir.

Les chaudières tubulaires ont l'avantage de présenter, sous un volume relativement faible, une surface de chauffe et une puissance considérables. Elles sont beaucoup moins encombrantes que les chaudières à bouilleurs et de Cornwall, mais elles contiennent en général moins d'eau et leur marche est par conséquent moins stable.

Leur construction et leur conduite sont plus délicates et elles sont plus sujettes aux fuites. Enfin leur plus grave inconvénient provient de l'impossibilité à peu près complète d'effectuer un bon nettoyage intérieur et surtout l'enlèvement des incrustations adhérentes qui recouvrent les tubes et remplissent même parfois les intervalles qui les séparent. Le service de ces chaudières ne peut se faire d'une manière régulière et prolongée qu'en employant des eaux à peu près pures ou purifiées artificiellement.

Les chaudières à vaporisateur amovible constituent, sous ce rapport, une modification des plus heureuses.

Les chaudières à vaporisation rapide ont, en général, un volume moindre et une surface de chauffe plus grande que les chaudières tubulaires elles-mêmes. Il en résulte que leur fonctionnement est encore moins stable; nous avons indiqué (**725**) comment dans certains générateurs on cherche à remédier à cet

inconvénient par l'addition d'un réservoir supérieur en partie rempli d'eau.

Parfois même on établit deux réservoirs parallèles superposés; la prise de vapeur se fait alors sur le réservoir le plus élevé. Il est évident que l'augmentation du volume du liquide résultant de cette disposition entraîne une diminution de sécurité.

Les tubes des chaudières à petit volume n'ayant qu'un faible diamètre sont exposés à être rapidement obstrués par les incrustations. On atténue cet effet fâcheux en épurant les eaux d'alimentation et aussi en alimentant directement dans le réservoir de vapeur de la chaudière afin d'obtenir par une rapide élévation de température des dépôts boueux non adhérents que l'on extrait de temps en temps par des purges. En outre les extrémités des tubes étant accessibles, il est facile de procéder à leur nettoyage intérieur à l'aide d'outils spéciaux, tels que tarières, grattoirs, etc.

Bien que ces chaudières offrent un grand nombre de joints, ordinairement deux par tube, les fuites sont aujourd'hui assez rares et l'application des joints à bagues coniques, sans interposition de mastic, a constitué un perfectionnement très important. Ces joints sont très étanches, ne présentent aucune cause de détérioration et il est très facile de les démonter et de les remettre en place en peu de temps. Au point de vue de la sécurité ces chaudières sont ordinairement préférables à celles des autres types; leur emploi tend à se généraliser de plus en plus, depuis quelques années.

754. La considération de l'emplacement horizontal que nécessitent les divers types de chaudières pour une surface de chauffe déterminée peut avoir, dans certains cas, une influence toute particulière sur le choix de l'appareil que l'on veut employer.

Pour rendre comparables, à ce point de vue, les divers générateurs entre eux, nous indiquons approximativement pour chaque système le rapport de la surface de chauffe à la surface occupée par la chaudière, ou, ce qui revient au même, le nombre de mètres carrés de surface de chauffe pour un mètre superficiel d'emplacement sur le plan horizontal.

1°	Chaudières à grand volume. .	2	à	3m^q	en moyenne.
2°	— semi-tubulaires. .	3		5	—
3°	— tubulaires	5		9	—
4°	— multibulaires . . .	9		12	—
5°	— verticales	10		15	—

Ces chiffres permettent de déterminer approximativement, suivant le système choisi, l'importance de la chaudière qui peut être installée dans un emplacement donné.

755. Rendement. — Un des éléments les plus importants d'une chaudière à vapeur est son rendement, c'est-à-dire la quantité d'eau vaporisée par kilogramme de combustible. C'est le plus souvent d'après son rendement qu'on estime la valeur d'un système ou d'une disposition de chaudière.

Au premier abord il semble assez simple de mesurer exactement le rendement d'une chaudière pour le comparer à celui d'une autre ; on pourrait croire qu'il suffit pour cela de faire fonctionner chacune d'elles pendant un certain temps, de peser le combustible consommé et de mesurer l'eau prise pour l'alimentation.

En fait, rien n'est plus difficile que d'avoir des chiffres exacts, à cause des nombreux éléments qui interviennent et tendent à fausser les résultats de comparaison.

Il y a d'abord la manière de conduire le feu ; on a constaté en effet que le rendement d'un même générateur peut varier de plus de 50 p. 100, suivant l'intelligence et l'habileté du chauffeur, suivant qu'il est ou non habitué à la chaudière qu'il conduit ou au charbon qu'il emploie. On a organisé dans certains pays des concours de chauffeurs, dans le but d'exciter entre eux une certaine émulation et de leur faire voir les meilleures méthodes pour conduire les foyers et les chaudières. On a pu constater ainsi de très grandes différences dans les résultats obtenus.

Cependant, ce qui semble résulter des expériences faites, c'est que, lorsqu'on a un foyer bien établi suivant les principes énoncés dans le chapitre qui a été consacré à cette étude (tome Ier) et lorsque le fourneau a été construit de manière à éviter, autant que possible, les pertes de chaleur, le rendement ne dépend

uniquement que de la température à laquelle les gaz de la combustion quittent la chaudière, et cela quel que soit le type de générateur employé.

§ VIII

CONSTRUCTION DES CHAUDIÈRES.

CORPS DES CHAUDIÈRES.

755. Tôles. — Les chaudières sont formées de feuilles de tôles cintrées ou embouties suivant la forme qui convient et réunies ensemble au moyen de rivets posés à chaud. La fonte ne sert que pour certaines pièces d'une forme compliquée, telles que les trous d'homme, les têtes de bouilleurs, etc.; aujourd'hui la tendance est de renoncer complètement à la fonte et de lui substituer le fer et l'acier.

La forme cylindrique, qui résiste le mieux à la pression, est

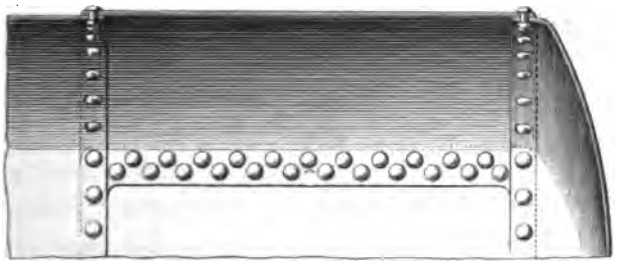


Fig. 430.

presque seule employée pour les corps de chaudières. Ceux-ci se composent d'un certain nombre de viroles, soit cylindriques, et alors de deux diamètres différents pour pouvoir entrer de deux en deux les unes dans les autres, soit légèrement coniques, pour s'emboîter toutes dans le même sens. Cette dernière disposition s'applique surtout dans la construction des bouilleurs.

Au point de réunion des coutures longitudinales et transversales, on peut avoir quatre tôles à river ensemble, ce qui oblige à battre des pinces aux angles pour diminuer l'épaisseur totale

et faciliter l'assemblage. Pour éviter une partie de cette difficulté, on a le soin de ne pas mettre en prolongement les coutures longitudinales de deux viroles successives (fig. 430).

L'épaisseur de la tôle doit être déterminée pour résister à la pression que la chaudière doit supporter dans les conditions particulières de construction et de température où elle fonctionne.

L'ordonnance du 22 mai 1843 qui a régi longtemps l'établissement des chaudières à vapeur en France, imposait une épaisseur déterminée pour la tôle des chaudières ; dans le cas de la plus grande pression à l'intérieur et pour des cylindres cette dimension était donnée par la formule administrative :

$$e = 0{,}0018(n-1)d + 0{,}003.$$

e est l'épaisseur de la tôle en mètres ;

n la pression absolue dans la chaudière en atmosphères ;

d le diamètre du tube cylindrique en mètres ;

0,003 est une épaisseur supplémentaire ajoutée pour tenir compte des défauts et des irrégularités de fabrication de la tôle.

L'ordonnance de 1843 portait en outre, que pour le cas où la plus grande pression s'exercerait de l'extérieur vers l'intérieur, on emploierait des tôles d'une plus grande épaisseur munies d'armatures, et une instruction ministérielle du 17 décembre 1848 imposa une épaisseur une fois et demie plus grande que celle donnée par la formule ci-dessus.

Le décret du 25 janvier 1865, et celui plus récent du 30 avril 1880, ont supprimé toute prescription administrative relativement à l'épaisseur à donner aux tôles des chaudières et ont laissé les constructeurs libres, sous leur responsabilité, de choisir l'épaisseur qu'ils jugent convenable, d'après la nature des matériaux qu'ils emploient, à la condition de soumettre la chaudière à une épreuve faite par les agents de l'administration. Nous reviendrons plus loin sur ces prescriptions (n° **916**).

En raison de la gravité des accidents que peuvent occasionner les explosions et de la responsabilité qui incombe au constructeur de chaudières et à l'industriel qui les emploie, il est d'une grande importance de déterminer l'épaisseur des tôles de

manière à se trouver dans les meilleures conditions de sécurité.

Nous renvoyons pour l'étude détaillée de cette question à l'excellent traité sur la résistance des matériaux de M. Contamin, professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, et nous nous bornerons à en résumer les conclusions.

Pour un tube cylindrique, l'effort transversal qui tend à *rompre* le tube suivant deux génératrices diamétralement opposées et à le séparer en deux demi-cylindres est par unité de longueur

$$(p_0 - p_1)D$$

p_0 et p_1 étant les pressions intérieure et extérieure par unité de surface et D le diamètre du tube.

R étant la tension que supporte la tôle par unité de surface et e l'épaisseur, on a pour la condition d'équilibre

$$2eR = (p_0 - p_1)D$$

en ne tenant pas compte de la légère différence entre les diamètres intérieur et extérieur du tube.

D'où l'on tire pour l'épaisseur

$$e = \frac{(p_0 - p_1)D}{2R}. \qquad (1)$$

En calculant l'effort qui tend à rompre le cylindre suivant un cercle et à le séparer en deux autres cylindres, on trouverait une épaisseur e_1 donnée par la formule :

$$e_1 = \frac{(p_0 - p_1)D}{4R}$$

c'est-à-dire la moitié de e; c'est donc par la première formule qu'il faut calculer l'épaisseur.

Soit n la pression effective en atmosphères; lorsqu'on remplace dans l'équation (1) $p_0 - p_1$ par 10330 n et R par 6×10^6, tension par mètre carré en kilogrammes à laquelle la tôle ordinaire peut être soumise avec sécurité, on trouve

$$e = 0{,}00086nD.$$

e est ici exprimée en mètres.

A la constante près, cette formule semble indiquer qu'il suffirait de donner aux parois des chaudières moins de la moitié de l'épaisseur qui résulte de la formule administrative. Cette conclusion ne serait pas exacte parce que pour établir la formule (1) on a supposé que la chaudière était parfaitement cylindrique. Or on démontre qu'une légère déformation (et il en existe toujours dans les chaudières par suite du mode d'assemblage par rivures avec recouvrement) augmente le coefficient 0,00086 dans le rapport de 2,79 à 1, en admettant un aplatissement de 28 millimètres de flèche sur un cylindre de 1 mètre de diamètre.

M. Contamin pense qu'on peut supprimer la constante et il donne, en résumé, pour déterminer l'épaisseur des tôles de chaudières, dans le cas d'une pression intérieure et pour des tôles de qualité ordinaire, la formule

$$e = 0{,}00206nd$$

n étant la différence exprimée en atmosphères des pressions exercées sur les deux faces de la tôle, d le diamètre en mètres, e l'épaisseur également en mètres.

L'effort auquel la tôle se trouve soumise est de $2^{\text{kil}},5$ par millimètre carré.

Pour un cylindre pressé de l'extérieur vers l'intérieur, l'épaisseur s'obtient en multipliant par 1,5 les résultats fournis par les formules précédentes.

756. Tubulures. — Pour éviter que la résistance d'une chaudière ne soit très affaiblie par un trop grand nombre d'ouvertures percées sur sa surface, on est dans l'usage de grouper sur sa génératrice supérieure les orifices nécessaires aux appareils qui peuvent s'établir à ce niveau, en s'arrangeant de manière qu'une même tubulure puisse être utilisée pour plusieurs d'entre eux; trois à quatre ouvertures convenablement réparties sur la longueur de la chaudière peuvent suffire le plus souvent.

757. Rivure. — Les rivets qui réunissent les tôles doivent être en fer de bonne qualité et posés à chaud. Il en résulte par

le refroidissement une contraction qui applique l'une contre l'autre les deux feuilles à réunir assez fortement pour que le seul frottement les empêche de se disjoindre; on évite ainsi le travail des rivets au cisaillement.

Les trous percés pour le passage des rivets ont nécessairement un diamètre un peu plus grand que celui du rivet, mais il convient que la différence des sections soit assez faible, afin qu'après sa pose le rivet remplisse bien complètement les trous percés dans les tôles à réunir. S'il pouvait se produire un glissement relatif de la tôle et du rivet avant que le corps de ce dernier pût porter, le déplacement faciliterait beaucoup le cisaillement. Le diamètre du rivet est en général le double de l'épaisseur des tôles qu'il sert à réunir.

Les trous de rivets se percent dans la tôle à la mèche ou au poinçon. Le premier procédé est préférable, parce qu'il évite les criques sur les bords des trous. Quand on l'emploie, on commence par percer les trous à la poinçonneuse en leur donnant 3 millimètres de moins que le diamètre définitif qu'ils doivent avoir; on les alèse ensuite lorsque les tôles sont cintrées et en place pour la rivure.

En prenant pour diamètre des rivets en fer $d = 2e$ et pour la tension $R = 2,5 \times 10^6$ par mètre carré, M. Contamin trouve que la distance S d'axe en axe des rivets qui réunissent deux viroles consécutives d'une chaudière doit être

$$S = \pi d$$

soit, en nombre rond, trois fois le diamètre du rivet; relation qui est consacrée par l'expérience.

L'effort tangentiel d'arrachement que subissent les tôles par unité de surface étant double de l'effort longitudinal, le nombre des rivets devra être doublé pour les coutures longitudinales. Il est donc impossible de les mettre sur la même ligne; on est obligé de les placer sur deux rangs et la disposition généralement adoptée est indiquée dans la figure 430.

En pratique, les coutures transversales se font, d'ordinaire, avec une ligne de rivets et on emploie deux lignes pour l'assem-

blage longitudinal. Quelquefois on ne met qu'une seule ligne de rivets dans chaque sens ; la résistance de l'attache longitudinale n'est alors que la moitié de celle de la couture transversale.

758. L'assemblage des feuilles de tôle par recouvrement produit toujours une déformation dans le tube, ce qui, comme nous l'avons vu, diminue notablement la résistance.

Pour conserver exactement la forme circulaire, surtout dans les grands diamètres, on fait quelquefois l'assemblage au moyen d'une plate-bande rapportée et d'une double ligne de rivets.

Les fonds des chaudières étaient autrefois sphériques ; on les faisait au moyen de feuilles de tôle embouties et rivées. Cette construction est un peu compliquée et comme la résistance dans le sens longitudinal est, ainsi que nous l'avons dit, deux fois plus grande que dans le sens transversal, on se contente aujourd'hui de faire le fond en un seul morceau embouti en anse de panier dont le grand rayon est double de celui de la chaudière et on le rive sur les bords de la première virole.

On trouvera des renseignements très étendus sur les diverses dispositions des assemblages des tôles de chaudières dans l' « Album d'éléments et organes de machines » de M. Ermel, ancien professeur à l'École Centrale.

Il importe, comme nous l'avons dit, d'éviter les rivures au coup de feu et pour cela il faut donner à la tôle qui forme le dessus du foyer la plus grande longueur possible, aussi bien dans les chaudières à foyer extérieur que dans celles à foyer intérieur, et reporter la première ligne transversale de rivets au moins un mètre après l'autel. Il convient en outre de disposer le recouvrement de manière que le courant de flamme ne tende pas à pénétrer dans le joint.

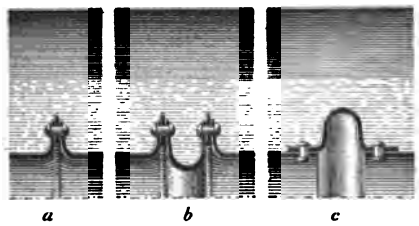
Pour les chaudières à foyer extérieur, il faut se garder de placer les rivures longitudinales au-dessus du feu ; on doit les reporter du côté opposé au rayonnement.

Pour les chaudières cylindriques à foyer intérieur, il faut placer les rivures au-dessous de la grille et la meilleure position est à peu près à égale distance entre la génératrice inférieure du cylindre et le foyer.

Il ne convient pas de mettre la rivure sur la génératrice inférieure parce que les têtes de rivets gêneraient pour retirer les cendres et les escarbilles et qu'il resterait toujours des dépôts qui faciliteraient la corrosion.

Pour les chaudières dont la construction est très soignée on fait les tubes du foyer sans rivures, en soudant bord à bord les tôles dont ils sont formés, ce qui permet d'obtenir une section rigoureusement circulaire.

Dans les chaudières à foyer intérieur (type Cornwall et analogues) on emploie quelquefois pour réunir les viroles un mode particulier d'assemblage. On rabat les deux extrémités de chaque virole de manière à former une grande bride à chaque bout; on rapproche ces bords rabattus en interposant un anneau plat en fer et on rive le tout ensemble; on mate ensuite contre l'anneau plat les bords rabattus (fig. 431 *a*).



a *b* *c*

Fig. 431.

Ce mode d'assemblage, qui exige l'emploi de tôles de très bonne qualité, est fort employé dans la marine et présente plusieurs avantages : il supprime toute rivure dans le tube du foyer; de plus les appendices métalliques que forment le disque et les bords rabattus plongent dans l'eau de la chaudière et favorisent la transmission de la chaleur en même temps qu'ils constituent des nervures augmentant beaucoup la résistance.

Toutefois, pour que cet assemblage reste étanche, il importe que les fonds de la chaudière contre lesquels s'appuie le tube du foyer ne fléchissent pas trop sous la pression; car s'il y avait par ce fait un allongement marqué du tube, chaque assemblage tendrait à s'ouvrir et, sous l'action répétée des variations de pression qui le feraient successivement ouvrir et fermer, il ne tarderait pas à s'y produire des fuites.

Le tube du foyer plus fortement chauffé que l'enveloppe extérieure tend à se dilater davantage; pour permettre cette dilatation, au lieu d'assembler le tube normalement sur les fonds

on lui donne quelquefois par emboutissage une forme courbe qui permet une légère déformation.

Dans le même but, M. Fairbairn a construit le tube intérieur du foyer avec des viroles assemblées au moyen de plates-bandes cintrées comme l'indique la figure 431 (*b*, *c*), qui permettent les mouvements de dilatation.

759. On emploie beaucoup maintenant, surtout dans la marine, les foyers ondulés du système Fox (fig. 385), en acier doux soudé, sans rivure ; ils présentent une grande résistance dans le sens transversal et facilitent la dilatation longitudinale. On fait aussi des foyers pourvus d'ondulations disposées suivant des hélices. On a reproché à ces deux systèmes de foyer de favoriser le dépôt des incrustations dans le fond des rainures, mais l'expérience semble prouver qu'avec les précautions ordinaires ce défaut est bien atténué.

760. Goussets. — Les fonds plats des chaudières à foyer intérieur ne résisteraient pas à la pression de la vapeur si on n'avait le soin de les munir de fortes armatures ; celles-ci consistent en goussets ou plaques de tôle triangulaires appliquées et rivées par l'intermédiaire de cornières, d'un côté sur le fond plat de la chaudière, et de l'autre le long d'une génératrice du cylindre extérieur. Il faut se garder de les river sur le cylindre du foyer, car les dilatations de ce dernier étant différentes de celles du gousset, des fuites se produiraient alors au bout de peu de temps.

Il faut également, pour la même raison, avoir soin de placer la rivure d'assemblage du fond d'avant avec le tube du foyer assez loin du feu ; pour cela on allonge suffisamment la plaque de fonte qui précède la grille, de telle sorte que le commencement des barreaux se trouve au moins à 10 centimètres de la rivure.

Toutes ces précautions sont la conséquence du même principe : éloigner le plus possible les rivures du feu.

761. Tubes. — Les tubes des chaudières tubulaires se font en fer, en cuivre ou en laiton et parfois même en acier. Ils ont le plus souvent, pour les chaudières fixes à tirage par cheminée, de 7 à 10 centimètres de diamètre ; pour les locomotives et les

chaudières à tirage forcé, on peut réduire leur diamètre à 5 centimètres et même moins.

Les tubes sont fixés sur les plaques tubulaires de diverses manières.

A l'origine, une fois les tubes mis en place, on enfonçait dans chacun d'eux un mandrin tronc-conique. On ouvrait ainsi l'extrémité du tube et on l'appliquait contre les parois du trou de la plaque tubulaire ; ce serrage formait un joint que l'on complétait par un matage sur les bords.

Un perfectionnement a consisté à se servir d'un mandrin en quatre pièces maintenues par des goupilles intérieures, mais pouvant s'écarter de quelques millimètres de manière à augmenter le diamètre extérieur du mandrin.

En enfonçant à coups de marteau, dans un trou ménagé au milieu du mandrin, une tige de forme carrée, dont les faces sont légèrement inclinées, on écarte les quatre pièces mobiles qui viennent appuyer et serrer le tube contre les parois du trou de la plaque tubulaire. Par cette opération, le bord du tube est en outre refoulé contre la face extérieure de la plaque, tandis qu'une nervure faisant saillie sur le mandrin s'incruste à l'intérieur et produit un bourrelet de l'autre côté de la plaque tubulaire.

Ce mode de tubage présente un inconvénient : les violents coups de marteau nécessités par la mise en place d'un tube ébranlent les autres assemblages, font desserrer les joints et il arrive assez souvent qu'en mandrinant un tube pour arrêter une fuite on en détermine dans les tubes voisins.

On se sert presque exclusivement aujourd'hui d'un outil imaginé par M. Dudgeon et qui fonctionne sans choc avec une grande énergie.

ACCESSOIRES DE LA CONSTRUCTION DES CHAUDIÈRES.

762. Trou d'homme. — On ménage d'ordinaire sur la partie supérieure de la chaudière, ou plus souvent sur le dôme, une ouverture appelée *trou d'homme*, présentant une section

suffisante pour permettre le passage d'un ouvrier en cas de visite, nettoyage ou réparation.

Par extension on désigne encore sous le nom de trou d'homme la tubulure en fonte (fig. 432) ou mieux en tôle emboutie dont le sommet est percé de l'orifice d'accès dans la chaudière et dont la base porte un collet cintré venant s'appliquer et se river sur le corps cylindrique. On ferme le trou d'homme au moyen d'un tampon de dimensions plus grandes que l'orifice et placé intérieurement, qu'on appelle « autoclave » parce que la pression de la vapeur tend toujours à l'appliquer sur son siège. Ce tampon porte sur sa face extérieure un rebord qui permet de le centrer sans tâtonnement et qui l'empêche de glisser lorsqu'il est mis en place ; il est en outre pourvu de deux boulons prisonniers traversant deux arcades qui s'appuient elles-mêmes sur les bords de l'ouverture. Les extrémités des prisonniers sont filetées et reçoivent des écrous qu'il suffit de serrer pour fixer le tampon.

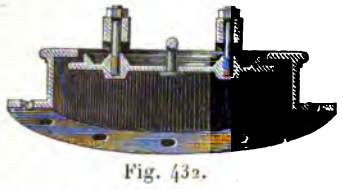


Fig. 432.

Le joint se fait avec du mastic de minium ou avec une rondelle de caoutchouc. Le tampon est retenu par les bords intérieurs du trou d'homme et la pression de la vapeur tend toujours à l'appliquer sur son siège.

763. Têtes de bouilleurs. — Afin de pouvoir pénétrer dans les bouilleurs, on emploie une disposition analogue. L'extrémité du cylindre est terminée par une tête en fonte portant une ouverture elliptique (fig. 343-434) comme celle d'un trou d'homme et que l'on ferme de la même manière par un tampon autoclave. Les pièces en fonte ayant occasionné des accidents, on emploie de préférence aujourd'hui la tôle emboutie pour la construction des trous d'homme et des têtes de bouilleurs.

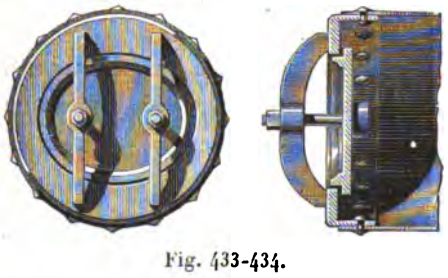


Fig. 433-434.

764. Trou de bras. — Quand l'espace dont on dispose sur le corps cylindrique n'est pas assez grand pour loger un trou d'homme, ou quand il n'est pas possible soit d'entrer dans la chaudière, soit d'accéder à certaines parties, on en est réduit à se contenter d'un trou de dimensions restreintes, et suffisant seulement pour introduire le bras et au besoin un outil; on l'appelle *trou de bras* ou *trou de sel* parce qu'il sert le plus souvent à enlever les matières salines formant les incrustations.

La disposition de ces trous est la même que celle des trous d'homme et ils se ferment également par un tampon autoclave.

765. Cuissards. — On désigne sous le nom de cuissards les gros tubes qui mettent en communication les bouilleurs avec le corps principal de la chaudière (fig. 435).

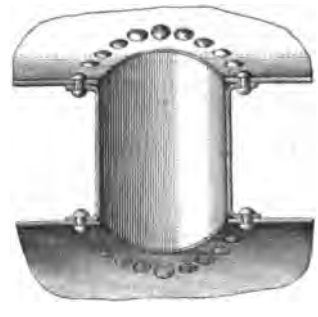


Fig. 435.

Ces cuissards sont formés d'un tube de 0,30 à 0,40 de diamètre ayant aux deux bouts des collets emboutis qui viennent s'appliquer et se river sur les cylindres qu'ils réunissent. Ce sont des pièces de forge assez compliquées mais que, dans les bons ateliers, on fait couramment d'un seul morceau et sans rivures.

Comme on est quelquefois obligé d'enlever un bouilleur et qu'il faut pour cela démonter les cuissards, on a essayé de rendre ce travail plus facile en faisant chaque cuissard en fonte et en deux pièces pouvant se séparer (1re partie, fig. 152). La pièce inférieure rivée sur le bouilleur porte une longue tubulure d'emboîtement dans laquelle vient se loger la pièce supérieure rivée sur le corps cylindrique.

Après l'emboîtement on remplit l'espace annulaire avec du mastic de fonte, et comme ce joint ne présente pas une garantie suffisante contre le déboîtement sous la pression de la vapeur, on a soin de le maintenir par un boulon d'assemblage passant dans l'axe du cuissard et reliant deux arcades ou traverses en fer placées l'une dans le bouilleur, l'autre dans le corps cylin-

drique. Cette disposition est peu employée, car il est aussi difficile de défaire le joint au mastic de fonte que de dériver le collet d'un cuissard ordinaire.

766. Chandeliers. — On désigne sous ce nom des pièces en fonte (fig. 436) reposant sur le radier des carneaux et sup-

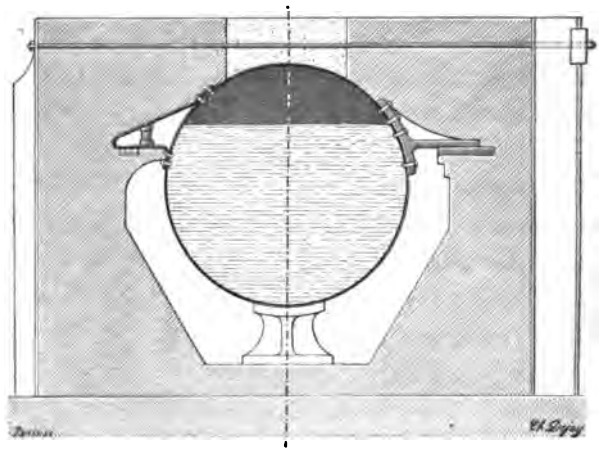


Fig. 436.

portant les corps cylindriques des chaudières. Comme le poids à soutenir est généralement considérable, il faut donner aux supports une base suffisante, afin d'éviter l'écrasement de la maçonnerie. Dans certains cas, on renforce les assises sous les chandeliers; souvent même, pour répartir la pression sur une plus grande surface, on interpose une plaque de fonte entre les chandeliers et le radier.

La face supérieure du chandelier doit présenter exactement la même courbure que le cylindre qu'elle supporte; s'il en était autrement, la tôle ne porterait que sur deux arêtes, suivant lesquelles une déchirure tendrait à se produire, ou bien ne s'appuierait que sur le fond du chandelier et le corps cylindrique se déformerait.

De même, si l'on a besoin de mettre des cales, il faut toujours les placer sous la base du chandelier, et non entre ce dernier et la tôle de la chaudière.

767. Sommiers. — On fait souvent reposer l'extrémité des

bouilleurs sur des sommiers ou barres de fer qui s'appuient sur les maçonneries latérales. Mais cette disposition n'est pas à recommander, car la partie inférieure des bouilleurs étant la plus chauffée, la dilatation y est plus considérable, les bouilleurs se relèvent par suite de l'allongement, ce que l'on désigne en disant qu'ils « lèvent le nez », et ils ne reposent plus alors sur les sommiers.

768. Oreilles. — Bien que les chaudières reposent solidement sur les bouilleurs, il convient qu'elles se supportent facilement elles-mêmes, pour permettre le démontage d'un bouilleur en cas de réparation. Dans ce but on rive latéralement sur le corps principal des oreilles ou pièces de fonte munies de nervures qui s'appuient sur la maçonnerie ou plutôt sur des plaques de fonte reposant sur la maçonnerie. Telle est la disposition représentée (fig. 436, côté droit).

On peut encore constituer ces supports au moyen d'un long fer plat recourbé et rivé en deux endroits à la tôle de la chaudière (fig. 436, côté gauche).

CONSTRUCTION DES FOURNEAUX DES CHAUDIÈRES.

769. Les chaudières fixes sont, comme nous l'avons vu, généralement disposées dans un fourneau en maçonnerie, dans lequel on établit des conduits ou carneaux pour la circulation des gaz de la combustion. Les fourneaux se font toujours en briques qui sont les matériaux usuels résistant le mieux à l'action de la chaleur.

Les parois du foyer et les parties voisines qui sont le plus fortement chauffées se construisent en briques réfractaires. On prend pour l'épaisseur des murs, comme dans toutes les constructions en briques, un multiple de la largeur (0,11) d'une brique ordinaire, augmentée de l'épaisseur des joints, afin d'avoir le moins possible de morceaux à tailler. Les joints doivent être croisés avec soin.

Pour le foyer, dont les parois se détruisent assez rapidement, on dispose les briques de façon à exposer au feu la face intacte, qui est plus résistante que les parties retaillées. On a soin d'ap-

pareiller les briques réfractaires de telle sorte qu'on puisse facilement réparer le foyer sans démolir la maçonnerie ordinaire.

Le hourdis employé est de la terre à four. Sur les faces extérieures, on repasse ordinairement les joints à la limaille, ce qui donne au fourneau un aspect plus satisfaisant et diminue l'appel d'air extérieur qui se produit à travers les parois.

Nous avons vu (**115**) qu'il y avait par les faces extérieures de la maçonnerie une perte de chaleur considérable. Une bonne pratique consiste à ménager dans la paroi du fourneau un espace vide qui a pour effet de réduire notablement la transmission de la chaleur.

Quand plusieurs chaudières sont accolées les unes aux autres dans un même massif, l'épaisseur des murs de séparation des fourneaux doit être déterminée non seulement par des considérations de stabilité, mais encore de manière à empêcher une transmission trop grande de la chaleur de l'un à l'autre. En effet, quand un fourneau est arrêté, il faut qu'on puisse s'y introduire et y faire des réparations sans être trop gêné par la chaleur du fourneau voisin; pour cela il est nécessaire que l'épaisseur du mur de séparation ne soit pas inférieure à $0^m,35$.

Pour permettre le nettoyage des carneaux, il faut laisser sur l'avant ou sur les côtés du fourneau des portes s'ouvrant sur les conduits de fumée. Ces portes sont fermées par un petit mur qu'on démolit pour procéder aux ramonages ou aux réparations intérieures sans toucher au reste de la maçonnerie.

Les chaudières fixes, telles que les chaudières à bouilleurs, de Cornwall et analogues, sont en général enveloppées de maçonnerie de toutes parts. Toutefois, on est dans l'usage de laisser sur la partie supérieure une bande longitudinale recouverte de gros sable bien sec (fig. 436) enveloppant toutes les tubulures des appareils accessoires, flotteurs, soupapes, alimentation, etc., qu'on peut ainsi visiter facilement et réparer s'il vient à se produire des fuites.

770. Armatures. — Les fourneaux, sous l'action de la chaleur, sont exposés à travailler et à se disjoindre ; aussi se produit-il souvent des crevasses et des fissures. Pour atténuer cet

effet, on emploie des armatures métalliques qui maintiennent les diverses parties de la maçonnerie.

Ces armatures sont des pièces en fonte ou en fer, de formes diverses, qu'on applique contre les parois extérieures du fourneau sur les côtés opposés et qu'on relie par des boulons (fig. 436). Dans le bas, on se contente le plus souvent de les sceller dans le sol.

Les boulons de réunion ne doivent pas être placés dans les parties chauffées, leur dilatation pouvant produire des effets destructifs sur la maçonnerie. Le mieux est de les faire reposer sur le plan supérieur du fourneau en faisant un peu dépasser l'extrémité des armatures.

Les fers qu'on dispose quelquefois en pleine maçonnerie comme armatures sont souvent plus nuisibles qu'utiles parce qu'ils se dilatent beaucoup plus que la maçonnerie.

Pour les chaudières à bouilleurs, le devant du fourneau doit être recouvert, comme nous l'avons dit, par une grande devanture en fonte scellée dans la maçonnerie et portant les gonds des portes du foyer et du cendrier. Les gonds scellés isolément dans le fourneau, comme on le faisait à l'origine, ne sont jamais solides.

Les boulons de scellement de la devanture doivent être écartés du foyer autant que possible, afin d'atténuer les effets de la dilatation.

Afin de protéger le chauffeur, en cas d'explosion des gaz combustibles ou de fuite accidentelle de vapeur, il est nécessaire de pourvoir les portes du foyer d'un système de fermeture qui les empêche de s'ouvrir sous l'action d'une pression intérieure. Dans ce but, on emploie ordinairement une fermeture à clenche et mentonnet.

§ IX

APPAREILS ACCESSOIRES DE SURETÉ D'ALIMENTATION ET DE PRISE DE VAPEUR.

771. La conduite des chaudières à vapeur exige des pré-

cautions et des soins particuliers, afin d'éviter les accidents qui pourraient résulter de fausses manœuvres ou de négligences. Aussi, soit pour permettre la surveillance nécessaire, soit pour parer, dans une certaine mesure, aux accidents qui pourraient se produire, les règlements imposent-ils l'installation d'un certain nombre d'appareils déjà indiqués (**672**) et qui sont :

2 Indicateurs de niveau (dont un à tube de verre);
1 Manomètre;
2 Soupapes de sûreté;
1 Clapet automatique de retenue d'eau d'alimentation ;
1 Robinet d'arrêt de vapeur;
1 Clapet automatique de retenue de vapeur dans certains cas.

En plus de ces appareils, on en installe souvent d'autres dont l'effet vient s'ajouter à celui des premiers; mais il est important de noter que l'administration, qui n'en rend pas l'emploi obligatoire, exige, lorsqu'ils sont établis, que leurs indications concordent parfaitement avec celles des premiers. Ils pourraient en effet, dans le cas contraire, tromper le chauffeur et lui donner une confiance non justifiée. Les plus répandus de ces appareils facultatifs sont le sifflet d'alarme et le bouchon fusible; le premier avertit de la trop grande variation de niveau; le second, déjà décrit au n° **753**, doit, par sa fusion, produire l'extinction du feu dès que le niveau a baissé au-dessous du ciel du foyer.

Tous ces appareils auxiliaires, obligatoires ou non, ont reçu maintes dispositions dont nous allons décrire quelques types.

INDICATEURS DE NIVEAU.

772. Il est très important que le chauffeur connaisse à tout instant le niveau de l'eau dans sa chaudière afin qu'il puisse régler l'alimentation, c'est-à-dire l'introduction de l'eau destinée à remplacer la vapeur dépensée. L'abaissement exagéré du niveau peut amener les accidents les plus graves et fréquemment des explosions; le surélèvement présente de même des inconvénients sérieux; aussi le règlement impose-t-il de pourvoir chaque chaudière de deux appareils indicateurs de niveau, indépendants l'un de l'autre; comme ces appareils doivent pou-

voir être facilement consultés par l'ouvrier chargé de l'alimentation, il est de toute nécessité qu'ils soient toujours convenablement éclairés.

L'un au moins des appareils réglementaires doit être un indicateur à tube de verre ; le second peut être à volonté un appareil semblable au premier, ou bien un indicateur à robinets ou à flotteur, suivant le type de chaudière.

Nous allons indiquer quelques-unes des dispositions adoptées en pratique.

APPAREILS A TUBE DE VERRE.

773. La figure 437 représente l'indicateur de niveau le plus simple. Il est formé d'un tube de verre maintenu par deux petits presse-étoupe en bronze communiquant avec la chaudière, l'un au-dessus et l'autre au-dessous du niveau normal de l'eau. On peut suivre sur le tube les variations du niveau de l'eau dans la chaudière.

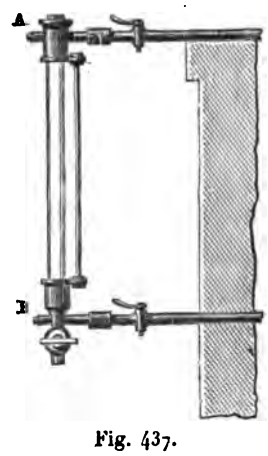


Fig. 437.

Pour faciliter la lecture des indications, on fabrique des tubes de verre munis d'un filet en émail rouge sur fond blanc. Le phénomène de la réfraction fait paraître plus large, dans toute la partie remplie d'eau, la bande rouge qui tranche alors nettement sur le fond blanc du tube.

Les deux tubes reliant l'indicateur à la chaudière sont pourvus chacun d'un robinet. Ces deux robinets peuvent être réunis par une chaînette ou une tige rigide, ce qui permet de les manœuvrer simultanément pour isoler l'indicateur en cas de rupture du tube. Un troisième robinet est placé à la partie inférieure et sert au nettoyage de l'appareil. Au sommet est un bouchon vissé qui permet soit de nettoyer le tube, soit de le remplacer.

Deux bouchons A et B permettent de nettoyer au besoin les tubes de communication entre la chaudière et le tube de niveau.

Cet appareil a l'inconvénient d'être fragile ; de plus il est trop sensible ; en effet, par suite de l'agitation produite par l'ébullition dans la chaudière, la colonne d'eau oscille constamment, ce qui rend la lecture du niveau très difficile ; en troisième lieu les boues en suspension dans l'eau qui viennent se déposer sur le tube finissent par le rendre opaque et augmentent encore la difficulté d'observation.

774. Un premier perfectionnement consiste à placer, entre le générateur et le tube, un barillet dans lequel l'eau se refroidit et se décante, en même temps que les mouvements dus au bouillonnement s'y atténuent. Un robinet placé à la partie inférieure permet d'opérer la vidange des dépôts. Par suite de l'emploi du barillet, l'eau arrive au tube de verre plus froide, moins sale et plus calme.

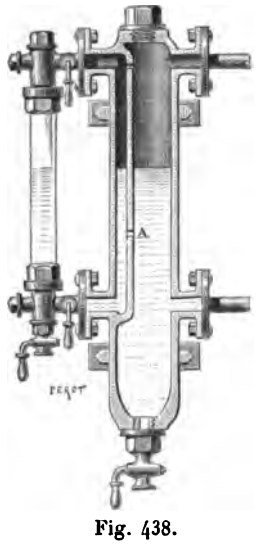


Fig. 438.

Afin d'augmenter l'effet du barillet, M. Damourette le divise en deux parties de sections inégales (fig. 438) par une cloison verticale percée de deux orifices de manière à ce que l'eau soit au même niveau dans les deux compartiments. Il faut remarquer qu'au-dessous de l'ouverture A l'appareil cesse de donner des indications exactes. On peut remédier à ce défaut en descendant l'orifice A ou bien en perçant une nouvelle ouverture dans la cloison, au niveau de la tubulure inférieure de l'appareil indicateur.

On ne peut pas dans cet appareil nettoyer les tubulures de communication avec la chaudière, sans démonter le barillet.

775. Niveau Dupuch à clapets de sûreté. — Il diffère du niveau ordinaire en ce qu'on y a établi des clapets de sûreté aux deux extrémités du tube de verre (fig. 439) pour arrêter automatiquement l'échappement de l'eau et de la vapeur, en cas de rupture du tube. Il convient de visiter et de nettoyer de temps en temps les clapets de cet appa-

reil, sinon des incrustations pourraient les mettre hors d'état de fonctionner au moment opportun.

En vue d'éviter la rupture du tube de verre sous l'action d'une brusque variation de température, on emploie quelquefois un dispositif dû à M. Daniel. Le barillet se trouve surmonté d'un serpentin dans lequel l'air se comprime et empêche la vapeur d'arriver jusqu'au tube, qui conserve alors une température modérée.

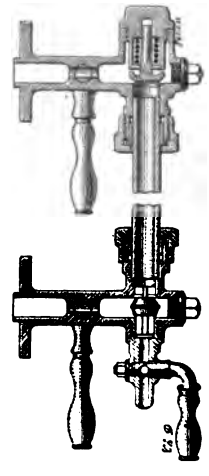


Fig. 439.

776. Niveau d'eau à tube de verre de M. E. Bourdon. — M. E. Bourdon a cherché à perfectionner le niveau ordinaire en facilitant le nettoyage intérieur; il a imaginé à cet effet une disposition qui permet, par le mouvement d'une seule manivelle placée sous l'appareil, de laver successivement le bas du barillet et sa tubulure inférieure par un courant d'eau et le tube de verre ainsi que la tubulure supérieure par un courant de vapeur.

L'indicateur se compose d'un tube de niveau monté sur un barillet muni à sa partie inférieure de l'appareil d'extraction (fig. 440-441); celui-ci est constitué par une chambre en bronze divisée en deux parties distinctes *a* et *b;* la première communique avec le bas du tube de verre et la deuxième, beaucoup plus grande, avec le tuyau S venant de la chaudière.

Deux trous percés dans une cloison formant le plafond de cette chambre mettent ces deux capacités en relation avec la partie supérieure du barillet. Au centre de la chambre est une sorte de boisseau, percé de deux ouvertures *f*, *g*, dans lequel se meut une tige *c* mise en mouvement par la manivelle et qui porte vers son milieu une partie creuse munie de trois orifices o_1, o_2, o_3 situés sur deux génératrices opposées; c'est cette tige qui permet de produire les différents effets recherchés.

L'appareil tel qu'il se trouve représenté figures 440 et 441 est dans sa position normale. Si l'on veut le nettoyer, on tourne la manivelle dans le sens voulu pour produire la descente; la tige *c*

entraîne avec elle une traverse munie de deux bouchons *e e* qui viennent fermer les orifices correspondants de la cloison transversale et interrompent ainsi la communication avec la partie supérieure; le mouvement continuant, l'orifice o_2 vient se mettre en face de la fenêtre *f*, tandis que o_1 débouche dans la capacité *p*;

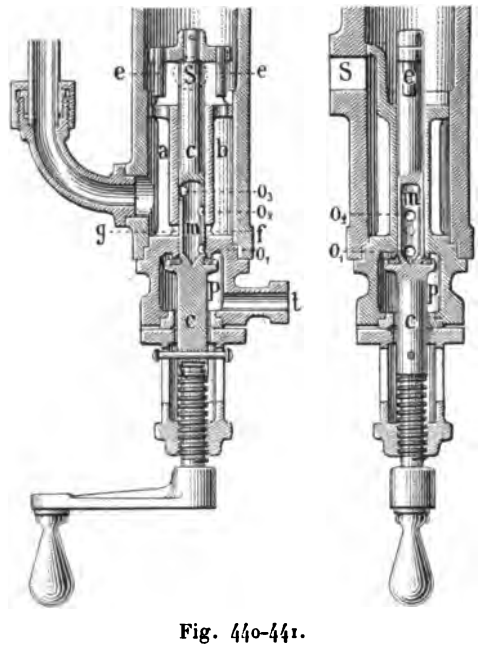


Fig. 440-441.

il en résulte que l'eau peut s'échapper en passant par le dégagement *m* et gagner le tuyau d'évacuation *t*. On voit ainsi que l'on obtient forcément le départ des boues qui se sont déposées dans la chambre *b* et dans la tubulure inférieure. Si on achève de faire descendre la tige *c*, l'orifice *f* est obstrué, tandis qu'au contraire *g* se trouve en face de o_3, et c'est le tube de verre qui est en communication avec *t*; la vapeur s'échappe. Ces dispositions permettent de nettoyer convenablement les diverses parties de l'indicateur.

777. Pour éviter le bris du tube de verre des indicateurs, il faut avoir grand soin de placer les deux presse-étoupe dans le prolongement l'un de l'autre et de disposer le tube de façon que

le verre soit en contact seulement avec la garniture du joint et ne touche le métal en aucun point.

Dans certains appareils, on remplace le tube par une glace en verre trempé disposée de manière à former la paroi antérieure du barillet. On facilite la lecture du niveau, en suspendant dans ce dernier une plaque recouverte d'un émail blanc, qu'on retire à volonté par le haut de l'appareil, lorsqu'on veut la nettoyer.

APPAREILS A ROBINETS DITS ROBINETS DE JAUGE.

778. Le second appareil imposé comme indicateur du niveau de l'eau peut être constitué par un système de trois robinets (fig. 442) disposés à des niveaux différents, soit sur un barillet, soit directement sur la paroi de la chaudière. Le robinet du milieu correspond au niveau normal de l'eau, et les deux autres sont situés aux niveaux extrêmes compatibles avec la sécurité ou mieux en deçà de ces limites. Le robinet supérieur doit donner de la vapeur, tandis que celui du bas doit toujours fournir de l'eau.

Fig. 442.

L'Administration tolère comme indicateur réglementaire, mais seulement pour les petites chaudières et lorsque les communications avec la chaudière sont larges et courtes, des robinets de jauge placés sur le barillet de l'appareil à tube de verre.

Les robinets de jauge peuvent être appliqués sur les chaudières établies à demeure, mais ils sont surtout en usage sur les appareils mobiles, locomotives, locomobiles, etc.

INDICATEURS A FLOTTEUR ET A SIFFLET D'ALARME.

779. L'indicateur le plus simple de ce système se compose d'un flotteur en métal ou en pierre, muni d'une tige sortant de la chaudière au travers d'un presse-étoupe et dont le mouvement indique le niveau de l'eau, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une aiguille mobile sur un cadran.

Si le flotteur est en pierre, on l'équilibre par un contre-poids. Ce dernier est rarement utile quand on fait usage d'un flotteur en métal creux, composé de deux calottes embouties et assemblées de manière à former une lentille à parois étanches, dans laquelle on a soin de verser un peu d'eau. Celle-ci se vaporisant lorsque la chaudière est en service, il s'établit dans le flotteur la même pression que dans la chaudière et la lentille ne s'écrase pas malgré la faible épaisseur de ses parois.

Il est évident que, lorsqu'on soumet la chaudière à une pression hydraulique à froid, il faut avoir soin de sortir le flotteur pour éviter qu'il ne soit écrasé.

780. L'appareil à flotteur est très souvent pourvu de sifflets d'alarme, formés chacun de deux calottes sphériques opposées dont les bords taillés en biseau ne laissent entre eux qu'un vide étroit. Lorsque, par suite du déplacement d'une petite soupape, la vapeur arrive dans la calotte inférieure, elle rencontre un disque qui l'oblige à s'échapper par la circonférence en formant une lame annulaire qui, se brisant sur le biseau de la calotte supérieure, produit un son dont l'intensité augmente avec la vitesse de la vapeur.

Un flotteur, qui peut être celui de l'indicateur de niveau, fait fonctionner la soupape qui met en communication le sifflet avec la chaudière.

781. Flotteur Bourdon (modèle primitif). — La disposition adoptée par M. Bourdon (fig. 443-444) a pour but de remplacer le frottement dans la boîte à étoupe par celui d'un tourillon sur son coussinet.

Ce tourillon traverse une boîte en fonte triangulaire A, à l'intérieur de laquelle il est mis en mouvement par un levier relié à la tige *d* du flotteur, tandis qu'à l'extérieur il porte une tige munie d'un contre-poids et terminée par une aiguille qui indique sur un cadran la hauteur de l'eau. Le même flotteur fait fonctionner le sifflet d'alarme au moyen du levier *b*, qui en appuyant sur le bouton *c*, fait ouvrir le clapet de vapeur du sifflet.

L'appareil peut, en outre, être muni d'une soupape de sûreté.

La figure 209 montre le joint du tourillon et de la paroi qu'il

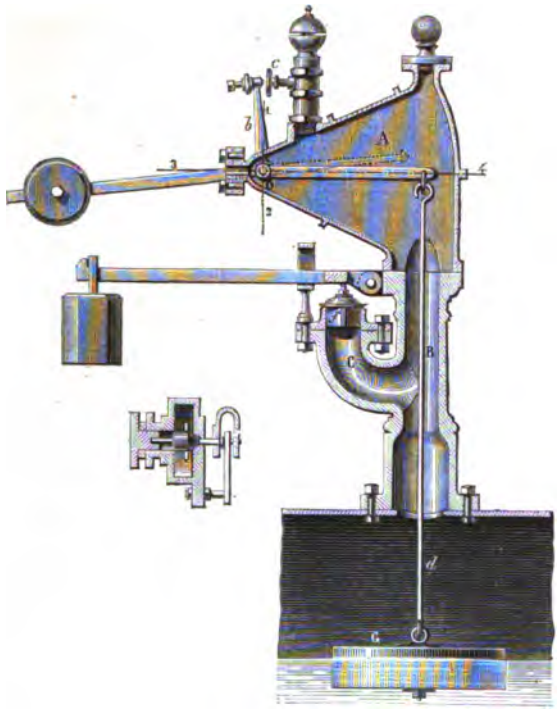


Fig. 443-444.

traverse; l'étanchéité est obtenue sans presse-étoupe grâce à une portée conique légèrement pressée sur un siège bien rodé.

782. Flotteur Bourdon (nouveau modèle). — M. Édouard Bourdon a modifié la construction de l'indicateur précédent, dans le but d'en diminuer le poids et les dimensions.

Le flotteur (fig. 445) n'agit plus directement, mais, par l'intermédiaire d'un levier à contre-poids, entraîne la tige de commande, qui actionne à son extrémité supérieure une petite manivelle *a* fixée sur l'arbre *b* portant l'aiguille indicatrice.

Un sifflet d'alarme est placé à la partie supérieure; il est commandé par deux petites cames *c* et *c'* qui viennent, suivant que le niveau est trop haut ou trop bas, appuyer l'une ou l'autre sur une tige qui ouvre ou ferme l'arrivée de vapeur à ce sifflet.

Une disposition spéciale permet de régler, au-dessus et au-dessous du niveau normal, les limites à partir desquelles l'appareil d'alarme fonctionnera. A cet effet, les deux cames sont indépendantes et folles sur le pivot *b*; on peut donc faire varier leur inclinaison comme on le veut; deux vis de pression permettent ensuite de les rendre solidaires d'une pièce qui, à l'inverse des cames, est montée d'une façon invariable sur le pivot *b*.

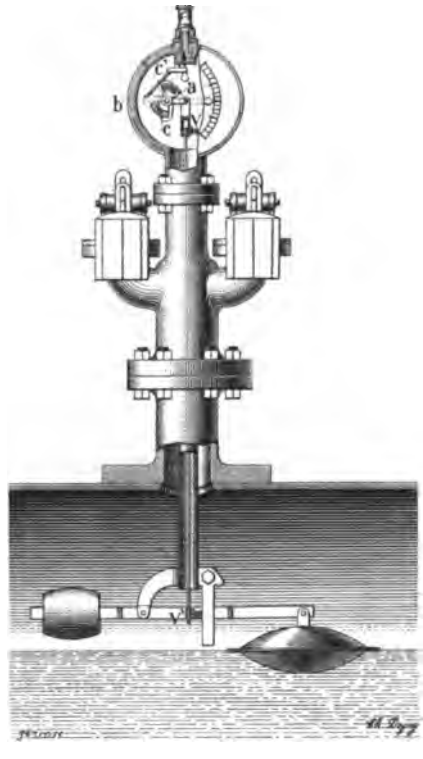


Fig. 445.

Ce mécanisme est disposé dans une boîte cylindrique en fonte fermée en avant par un cadran émaillé devant lequel se meut l'aiguille indicatrice et montée sur une colonne également en fonte, boulonnée sur la chaudière.

Le support du balancier du flotteur est suspendu dans la chaudière à un tube en fer vissé lui-même dans la base de la colonne en fonte.

Quant à l'arbre de l'aiguille, il est muni du joint conique que nous avons vu dans l'ancien appareil.

Enfin deux vis de pression V et V' permettent de régler la longueur de la tige de commande d'après le niveau normal de l'eau dans la chaudière.

Dans les indicateurs à flotteur que nous venons de décrire, les mouvements dus aux variations du niveau de l'eau à l'intérieur de la chaudière, sont transmis à une aiguille indicatrice située à l'extérieur; cela exige forcément un joint qui doit être

d'une étanchéité parfaite, tout en permettant le libre jeu des organes qui le traversent. Le joint conique sans presse-étoupe donne de bons résultats. Dans les appareils que nous allons décrire, on s'est attaché à supprimer cette communication entre l'intérieur et l'extérieur.

783. Indicateur magnétique Lethuillier et Pinel. — Nous représentons, figure 446, cet indicateur qui se compose d'une colonne en fonte A, surmontée d'une boîte en cuivre B, dans laquelle se meut un fort aimant D fixé à l'extrémité de la tige E du flotteur F. Des ressorts appuient constamment les pôles recourbés de cet aimant contre l'une des parois de la boîte, sur la face extérieure de laquelle glisse un petit barreau en fer O retenu seulement par l'action magnétique. On dispose le long de la colonne en fonte deux sifflets d'alarme actionnés par deux taquets que porte la tige du flotteur. On peut également munir l'appareil de deux tubulures pour les soupapes de sûreté, et le pourvoir d'un manomètre.

Fig. 446.

On voit que le fonctionnement de cet indicateur est assez simple; toutefois il peut arriver qu'une oscillation brusque ou une diminution de puissance de l'aimant viennent à entraîner la chute de l'index; si parfois cette éventualité se produit, la position anormale de l'index montre que l'appareil a cessé de fonctionner, et on ne risque pas de se fier à une fausse indication.

784. Indicateur Perrotte. — M. Perrotte a aussi établi un indicateur magnétique, mais il transforme le mouvement de va-et-vient de la tige du flotteur en un mouvement de rotation de l'aimant autour d'un axe horizontal; l'aiguille indicatrice re-

tenue par son pivot ne peut plus se détacher; il est à craindre que, cessant d'obéir à l'action de l'aimant, elle ne reste en arrêt dans une position quelconque et ne donne une indication trompeuse.

M. P. Carette avait exposé en 1889 un indicateur analogue et d'une très grande sensibilité. Cet appareil se compose d'un levier à branches inégales porté sur deux couteaux; un flotteur logé dans un barillet suit les variations du niveau de l'eau dans la chaudière et agit sur la longue branche du levier. La petite branche est constituée par un aimant énergique, en acier comprimé, qui entraîne dans son mouvement une aiguille en fer doux placée extérieurement vis-à-vis de lui.

Fig. 447.

Cette aiguille, protégée par une glace, oscille autour d'un axe dont la direction coïncide avec les tranchants des couteaux du levier. Elle porte un contre-poids qui tend à la ramener à l'indication du manque d'eau dans le cas où elle échapperait à l'action de l'aimant.

785. Indicateur système Dupuch. — Cet appareil se compose d'une colonne montante (fig. 447) fixée sur le générateur et d'une caisse pendante remplie d'eau de condensation. Cette dernière porte à sa partie inférieure un cadre muni d'une glace derrière laquelle se meut l'aiguille indiquant le niveau. La glace est protégée de la chaleur par l'eau qui la recouvre toujours, et l'étanchéité de son joint avec le cadre est obtenue par une mince bande de caoutchouc.

On voit sur la figure comment le mouvement du flotteur est transmis à l'aiguille par l'intermédiaire des bielles; un levier coudé placé à la partie supérieure actionne en outre un sifflet d'alarme pour signaler le trop d'eau ou le manque d'eau.

Pour réparer la glace quand la chaudière est en marche, on abaisse ce levier à l'aide de la vis située à la partie supérieure de l'appareil ; par ce mouvement, on vient appuyer sur son siège un petit clapet qui isole la boîte où se meut l'index ; en même temps l'action du flotteur est paralysée.

786. Indicateur Chaudré. — Cet appareil se compose d'une colonne en fonte surmontée d'une boîte pourvue d'un cadran indicateur. Cette colonne est fermée à sa partie supérieure par un bouchon en bronze fortement vissé et traversé lui-même par un tube assez mince qui lui est soudé à sa partie supérieure ; à son extrémité inférieure ce tube est également soudé à une longue tige qui le traverse. Le flotteur agit sur la tige par l'intermédiaire d'un levier coudé et d'une petite manivelle en forme de fourchette, embrassant une partie sphérique qui termine la tige. Sous l'action du flotteur, celle-ci peut s'incliner et, grâce à la flexibilité du tube, transmet son mouvement à une aiguille extérieure mobile sur un cadran. On voit qu'il n'y a ainsi aucune communication entre l'intérieur et l'extérieur.

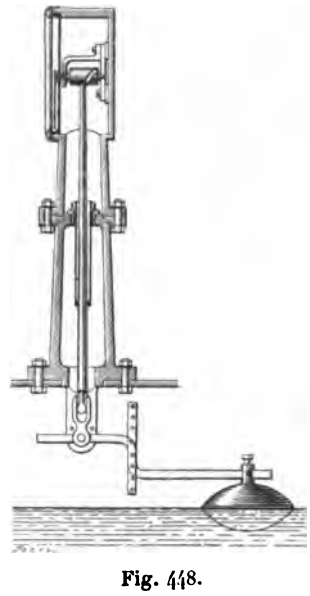


Fig. 448.

Dans l'appareil que nous représentons (fig. 448), l'aiguille indicatrice est fixée sur l'axe d'un tambour qui porte une rainure hélicoïdale dans laquelle s'engage l'extrémité supérieure de la tige motrice.

On comprend facilement que le mouvement de translation de l'extrémité de la tige produise la rotation du tambour.

787. Pour les chaudières verticales de grande hauteur, la lecture du niveau sur l'indicateur ordinaire à tube de verre devient impossible. Le règlement prescrit alors de le remplacer par un appareil mis à portée de la vue du chauffeur.

Une disposition simple consiste à établir un siphon renversé de longueur convenable, dont les deux branches inégales aboutissent l'une au-dessus du niveau de l'eau de la chaudière et l'autre au-dessous.

On a préalablement introduit une certaine quantité de mercure dans l'appareil et les deux tubes sont remplis d'eau. Les dénivellations du mercure indiquent sensiblement dans le rapport de $\frac{1}{13,6-1}$ les variations du niveau de l'eau dans la chaudière; l'appareil peut être gradué de telle façon qu'on puisse lire directement ces variations.

788. MM. Renaux et Bonpain ont imaginé un appareil employé dans le même but et qui transmet en vraie grandeur les variations du niveau. Il consiste en un récipient de diamètre un peu supérieur à celui des barillets des niveaux à tube de verre, et prolongé à sa partie inférieure par un tuyau vertical en cuivre qui est lui-même terminé par un tube de verre.

Dans le barillet se trouve un flotteur cylindrique supportant une tige qui passe dans toute la longueur du tube de cuivre et dont l'extrémité porte une boule ou un index. La position de l'index dans le tube de verre fait connaître à chaque instant la hauteur de l'eau dans la chaudière.

789. La plupart des indicateurs à flotteur, légèrement modifiés ou complétés, peuvent servir à reporter en un point fixé les indications du niveau. Dans le cas des chaudières verticales de grande hauteur, ils peuvent remplacer l'appareil à tube de verre.

On a quelquefois disposé des indicateurs à flotteur avec enregistreurs ; jusqu'ici ces appareils ne se sont pas beaucoup répandus.

Dans les chaudières à petit volume et à vaporisation rapide où le niveau subit de brusques variations, ces indicateurs ne fournissent pas de renseignements précis sur la conduite de l'alimentation.

MANOMÈTRES.

790. Le manomètre a pour but, ainsi que nous l'avons dit, de faire connaître à tout instant la pression de la vapeur dans la

chaudière. C'est d'après ses indications que le chauffeur conduit son feu. Quand le manomètre a une tendance à baisser, le chauffeur active le tirage et pousse le feu de manière à relever la pression afin d'éviter de trop grands écarts.

Les premières chaudières à vapeur fonctionnaient à basse pression ; l'excès de la tension intérieure sur la pression atmosphérique, était inférieur à une atmosphère, c'est-à-dire à la pression exercée par une colonne d'eau de $10^m,33$ de hauteur, ou par une colonne de mercure de $0^m,76$. Cette pression pouvait se mesurer au moyen du manomètre à mercure, appareil formé d'un tube de verre à deux branches recourbées en siphon renversé et contenant du mercure. En mettant l'une des branches en communication avec la chaudière et l'autre avec l'atmosphère, la différence de niveau dans les deux branches indiquait en hauteur de mercure la pression de la vapeur. Généralement, on graduait les colonnes en fractions d'atmosphère.

Le mercure avait été choisi à cause de sa grande densité, qui permettait de répartir sur une hauteur de $0^m,76$ les indications de l'instrument.

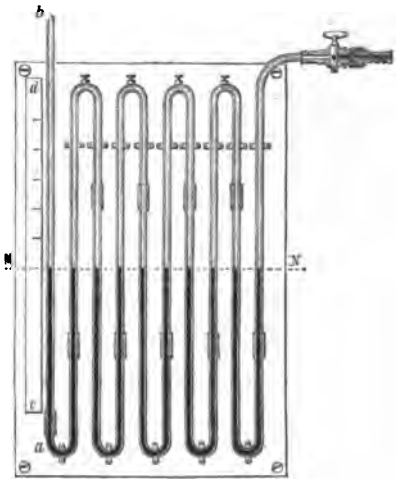


Fig. 449.

Quand on commença à utiliser des pressions plus élevées, il fallut augmenter la hauteur des branches du manomètre qui devint plus fragile et plus difficile à installer. En même temps les grands déplacements du niveau du mercure rendaient la lecture peu commode. On dut modifier la construction et on donna à la branche libre du manomètre un diamètre notablement supérieur à celui de l'autre branche. D'autres fois, on construisit un appareil composé d'une série de tubes recourbés, dont la partie inférieure était remplie de mercure jusqu'au niveau MN, et la partie supé-

rieure remplie d'eau. Le mouvement du mercure dans l'une des branches se transmet exactement dans les autres ; il est facile de voir qu'en se servant d'un appareil à dix branches, le déplacement du niveau du mercure sera un peu plus de 0,10 de la pression effective à mesurer. Une échelle graduée *cd* permet de faire directement la lecture. Les tubes sont en fer, sauf la partie *ab* sur laquelle se lisent les indications et qui est en verre (fig. 449).

On peut se dispenser d'employer un tube de verre en se servant d'un flotteur équilibré disposé pour que la lecture puisse être faite sur une échelle graduée.

Enfin on eut recours au manomètre à air comprimé (fig. 450-451) ; la course du niveau se trouvait limitée, mais en même temps elle diminuait, suivant la loi de Mariotte, à mesure que la pression augmentait ; les indications devenaient donc de moins en moins précises. Pour régulariser autant que possible les divisions on était obligé de recourir à l'emploi de tubes coniques qu'on graduait par comparaison avec un manomètre étalon. Mais un autre inconvénient se produisait, le volume d'air contenu dans l'appareil diminuait progressivement par suite de l'oxydation du mercure. Il est vrai que l'on pouvait remédier à cet inconvénient en remplaçant l'air par un gaz inerte tel que l'azote ou l'acide carbonique ; mais c'était là une complication assez délicate.

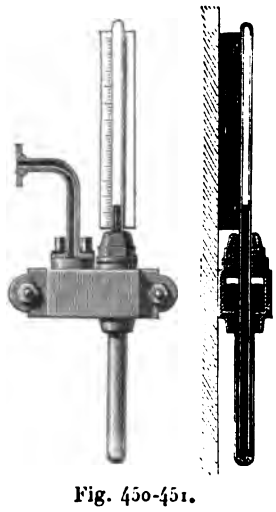


Fig. 450-451.

On a été amené à remplacer tous ces appareils fragiles et généralement encombrants, par des manomètres métalliques, universellement employés aujourd'hui.

791. Manomètre Bourdon. — En 1849, Bourdon imagina un manomètre entièrement métallique basé sur le principe suivant :

Lorsqu'on soumet à une certaine pression intérieure un tube méplat recourbé, ce dernier tend à se redresser et la déformation est d'autant plus grande que la pression intérieure est plus forte.

L'appareil (fig. 452) consiste en un tube de cuivre aplati, enroulé en spirale et dont l'une des extrémités reste fixe et se trouve en communication avec la chaudière. L'autre extrémité reste libre de se déplacer et porte une aiguille qui se meut sur un cadran divisé.

Lorsqu'il se produit une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du tube enroulé, celui-ci se déforme et l'aiguille marche sur un cadran divisé qui porte une marque très apparente, indiquant la limite que la pression effective de la chaudière ne doit jamais dépasser. Sur l'appareil représenté, cette marque se trouve à la pression de 6^k.

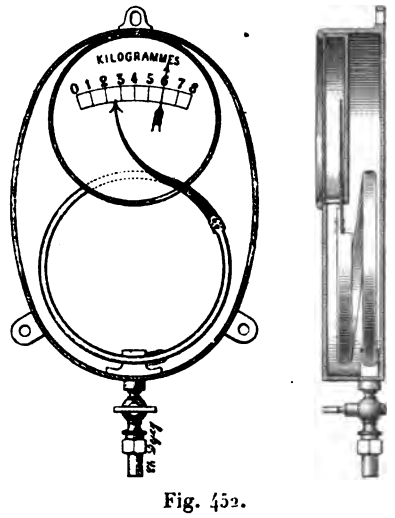


Fig. 452.

L'expérience ayant montré que les déplacements de l'aiguille sont sensiblement proportionnels aux pressions, on pourrait graduer les manomètres d'une manière analogue à celle usitée pour les thermomètres. Mais, chez les constructeurs soigneux, chaque échelle est divisée en comparant les déplacements de l'aiguille aux indications d'un manomètre à air libre.

Pour conserver l'exactitude des indications, on dispose le manomètre de façon à éviter l'échauffement du tube; à cet effet on remplit ce dernier d'un liquide qui, pour les appareils exposés au froid, doit être incongelable; on recourbe le tuyau de communication avec la chaudière, de façon à former une poche dans laquelle s'accumule un petit volume d'eau, qui maintient le tube à l'abri de l'action de la chaleur. Certains manomètres sont construits pour mesurer des pressions pouvant s'élever jusqu'à 400 atmosphères et plus.

Il est utile de vérifier, de temps en temps, à l'aide d'un appareil-étalon, les indications des manomètres métalliques. Il arrive,

en effet, que le tube recourbé subit à la longue une déformation permanente qui peut fausser les indications de l'aiguille.

Pour faciliter la vérification, le règlement prescrit que chaque chaudière soit munie d'un ajutage terminé par une bride de 0,04 de diamètre, disposée pour recevoir le manomètre vérificateur. Cet ajutage est ordinairement établi sur un robinet placé au bas du manomètre.

792. M. E. Bourdon a apporté au manomètre métallique certaines modifications dans le but de faciliter le réglage à l'atelier. A cet effet (fig. 453), l'aiguille indicatrice au lieu d'être fixée directement à l'extrémité du tube enroulé, est mise en mouvement par l'intermédiaire d'une petite bielle dont la longueur se trouve déterminée lorsqu'on règle l'appareil.

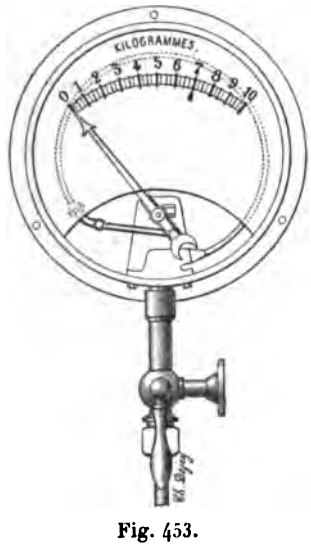


Fig. 453.

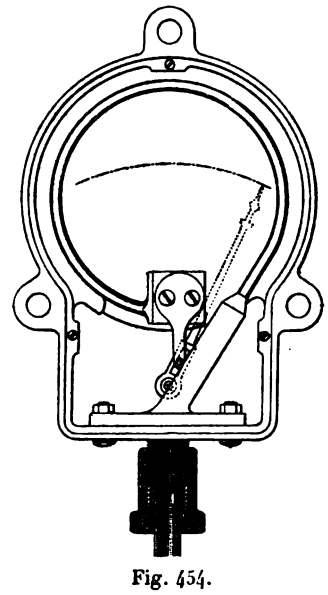


Fig. 454.

793. Manomètre Guichard. — Dans le manomètre Guichard (fig. 454) le mouvement de déformation du tube est communiqué à l'aiguille par une pièce rigide fixée à l'extrémité du tube. Cette pièce porte à sa partie inférieure une petite tige rivée servant d'axe à un coulisseau qui est engagé dans une mortaise ectangulaire pratiquée dans l'aiguille indicatrice.

794. Manomètre Desbordes. — Cet appareil, représenté figure 455, repose sur un principe différent du précédent. La pression de la vapeur agit sur un disque de caoutchouc C, formant joint et surmonté d'un piston P dont la tige appuie contre une lame d'acier fixée à ses extrémités *a* et *b*; ce ressort presse contre une came *c* commandant à l'aide d'un secteur S un pignon *p* sur l'axe duquel est fixée l'aiguille. Un ressort antagoniste R tend à ramener le secteur en arrière, lorsque la pression diminue.

Ce manomètre a été abandonné à cause de la détérioration rapide du plateau de caoutchouc malgré la précaution qu'on avait prise de le protéger par un petit disque de cuivre D.

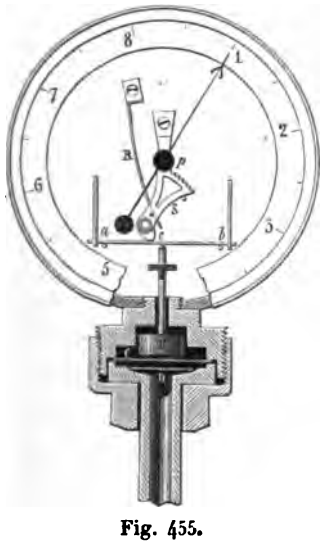


Fig. 455.

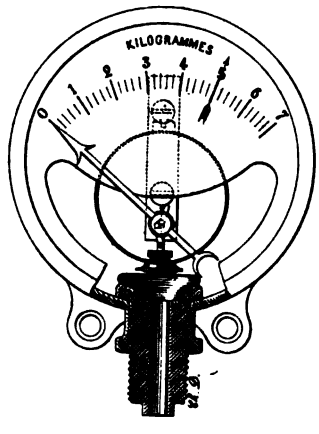


Fig. 456.

795. Manomètre Ducomet. — Comme le précédent ce manomètre utilise le mouvement d'un diaphragme qui, cette fois, est constitué par une lame de cuivre, recouverte de chaque côté d'une feuille d'argent.

Le mouvement se transmet à l'aiguille par l'intermédiaire d'une bielle et d'un arbre coudé (fig. 456).

Lorsque la pression baisse, l'aiguille rétrograde sous l'action d'une lame de ressort circulaire.

796. Manomètres enregistreurs. — La marche régulière

des générateurs présentant une importance considérable au point de vue économique, il est très utile de pouvoir vérifier à un moment quelconque quelles ont été les pressions dans la chaudière, pendant la durée du travail ; on arrive à ce résultat à l'aide des manomètres enregistreurs qui inscrivent sur un carton les diverses pressions auxquelles ils sont soumis.

Le chauffeur se sent ainsi surveillé sans cesse et dirige son foyer avec plus de soin.

797. Manomètre enregistreur de M. E. Bourdon. — On applique dans cet appareil (fig. 457) le même principe que

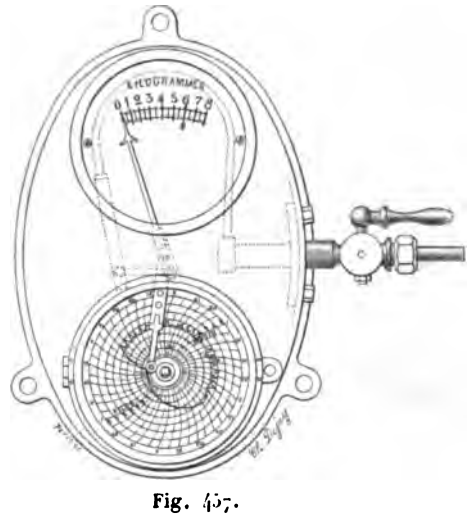


Fig. 457.

dans le manomètre ordinaire, mais l'extrémité du tube recourbé est reliée par l'intermédiaire d'un levier à deux aiguilles dont l'une se meut devant un cadran et l'autre est munie d'une pointe traçante qui s'appuie sur un disque en carton, auquel un mouvement d'horlogerie fait exécuter une révolution complète en 24 heures.

La circonférence de ce disque est divisée en heures et quarts d'heure; chacun des points de division est relié au centre par un arc de cercle dont le rayon a pour longueur la distance de ce centre au pivot de l'aiguille. Les pressions sont représentées par des cercles concentriques à la circonférence du disque. On

comprend aisément sur la figure comment se fait la lecture de la courbe des pressions.

798. Manomètre enregistreur Richard. — L'appareil traceur est encore actionné par un tube recourbé (fig. 458); les

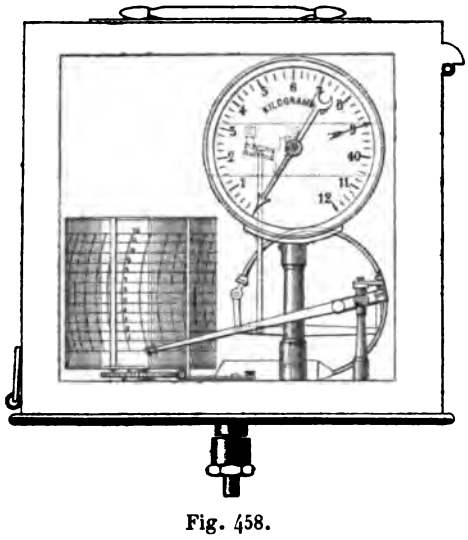


Fig. 458.

mouvements de ce tube sont transmis au moyen d'une bielle à un balancier dont les bras sont inégaux et qui agit à son tour sur la petite branche d'un levier portant une pointe traçante à l'extrémité de sa longue branche.

Un cylindre que recouvre une feuille de papier tourne constamment, sous l'action d'un mouvement d'horlogerie, au contact de cette pointe qui inscrit ainsi sur sa surface la courbe des pressions. Ces dernières sont portées en ordonnées et les temps en abscisses.

Cet appareil est quelquefois muni, en outre, d'un cadran sur lequel on peut lire directement les pressions; c'est le cas de celui que nous représentons (fig. 458).

SOUPAPES DE SURETÉ.

799. Les décrets administratifs exigent que chaque chaudière soit pourvue de deux soupapes de sûreté, chargées de manière à se soulever et à donner issue à la vapeur aussitôt que la pres-

sion effective atteint la limite fixée par le timbre réglementaire.

Chacune des soupapes doit présenter une section de sortie suffisante pour que toute la vapeur qui se forme, même avec le feu le plus poussé, puisse s'échapper sans que la pression limite soit dépassée.

La circulaire ministérielle du 21 juillet 1880 spécifie que « *la soupape de sûreté doit être considérée non comme un appareil automatique limitant au degré voulu la tension de la vapeur, mais comme un appareil indiquant matériellement que cette tension a atteint le maximum qui ne doit pas être dépassé et qui le serait la plupart du temps, si la soupape n'était pas déchargée ou soulevée de manière à ouvrir à la vapeur un écoulement suffisant.* »

Ce commentaire signifie qu'il y a danger lorsque les soupapes soufflent à la pression limite maxima, et qu'il faut, soit en ouvrant un échappement direct, soit par tout autre moyen, faire redescendre la pression au-dessous de cette limite extrême.

800. Une soupape de sûreté (fig. 459) se compose d'un clapet en bronze reposant sur un siège également en bronze qui est porté par une petite colonne creuse, généralement en fonte, appliquée sur la chaudière; le clapet est muni d'ailettes qui le guident dans son mouvement. Ces ailettes peuvent être remplacées par un petit cylindre creux, appelé lanterne et percé de trois ou quatre orifices (fig. 460).

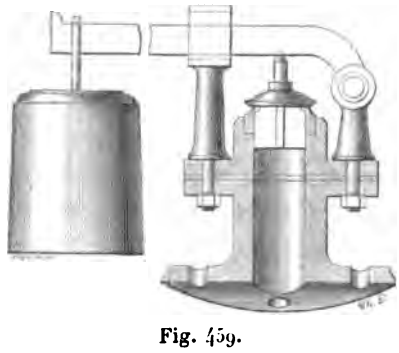


Fig. 459.

Le clapet est maintenu en place par un poids convenablement calculé agissant soit directement, soit par l'intermédiaire d'un levier.

La surface de contact entre le siège et le clapet est une zone annulaire qu'il convient de réduire autant que possible, et dont

la largeur ne dépasse généralement pas 1 à 2 millimètres ; car si le clapet vient à se coller, l'adhérence est d'autant plus difficile à vaincre, au moment du soulèvement, que les surfaces en contact sont plus grandes.

En outre, lorsque la vapeur s'échappe par une soupape à large contact, on a remarqué que l'écoulement n'est pas régulier, qu'il se produit des intermittences et par suite des chocs.

Le siège des soupapes doit être horizontal et non conique afin d'éviter tout coincement.

L'emploi des soupapes à levier (fig. 459) est presque nécessaire sur les chaudières à haute pression parce qu'il permet de réduire dans le rapport des bras de levier le poids à appliquer, mais il y a dans ce cas plusieurs précautions à prendre. Le levier doit agir sur la soupape par l'intermédiaire d'un pointeau ou petit cylindre à deux pointes dont l'une s'appuie sous le levier et l'autre sur le clapet, de façon que l'action

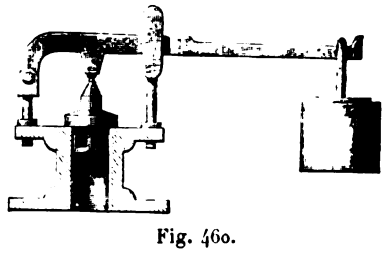


Fig. 460.

Fig. 461.

du contrepoids s'exerce en des points nettement déterminés. On dispose de préférence l'axe de rotation du levier à la hauteur

de l'extrémité supérieure du pointeau (fig. 460), pour que la composante horizontale du mouvement de rotation soit aussi faible que possible.

Dans les appareils mobiles, on ne peut guère appliquer un poids à l'extrémité du levier, car les trépidations faisant osciller le poids et pouvant même le déplacer sur le levier, modifieraient les conditions de fonctionnement de la soupape.

On remplace alors le poids par un ressort à boudin. Nous représentons (fig. 461) la disposition généralement adoptée sur les locomotives. Le ressort agit dans une gaine rattachée à la chaudière.

801. Calcul des dimensions d'une soupape. — Une chaudière produit comme nous l'avons vu de 12 à 25 kilogr. de vapeur par mètre carré; mais, si elle était entièrement plongée dans la flamme, ce chiffre pourrait s'élever à 100 kilogr., soit à 0,100 tonne; c'est dans cette dernière hypothèse que, par prudence, on calcule les soupapes.

Le poids P de vapeur, exprimé en tonnes, produit par seconde sera donc, en désignant par S la surface de chauffe

$$P = \frac{S \times 0,100}{3600}. \qquad (1)$$

Appelons :

Q le volume en mètres cubes de ce poids de vapeur;

d sa densité;

s la section de la soupape en mètres carrés;

v la vitesse d'écoulement de la vapeur en mètres.

On a

$$P = Qd = svd. \qquad (2)$$

Nous allons calculer les différents termes de cette équation. La vitesse v est donnée avec une approximation suffisante par l'expression :

$$v = 500\varphi\sqrt{\frac{n - n_0}{n}(1 + \alpha t)}$$

dans laquelle

φ est le coefficient de contraction à l'origine du tuyau d'écoulement;

t la température de la vapeur ;
n la tension absolue de la vapeur évaluée en atmosphères ;
n_0, la pression du milieu dans lequel la vapeur s'écoule. Dans le cas actuel $n_0 = 1$, puisque l'écoulement se fait dans l'atmosphère.

Les pressions n et n_0, mesurées en atmosphères, pourraient aussi bien être évaluées en unités d'une autre espèce, puisque dans l'expression de v il n'entre que le rapport des pressions.

Nous prendrons :

$$v = 500\varphi\sqrt{\frac{n-1}{n}(1+\alpha t)}. \qquad (3)$$

Exprimons maintenant la valeur de d; c'est la densité de la vapeur qui s'écoule à t degrés et à n atmosphères, elle est donnée par la formule

$$d = 0{,}001293 \times 0{,}622 \times \frac{n}{1} \times \frac{1}{1+\alpha t}. \qquad (4)$$

En portant dans l'équation (2) les valeurs de P, v et d fournies par les relations (1) (3) et (4) on a :

$$\frac{0{,}100S}{3600} = s \times 500\varphi\sqrt{\frac{n-1}{n}(1+\alpha t)} \times 0{,}001293 \times 0{,}622 \times \frac{n}{1+\alpha t}.$$

En prenant $\varphi = 0{,}70$ (au lieu de 0,65, coefficient appliqué pour l'écoulement en mince paroi) on trouve en effectuant

$$s = 0{,}00015\sqrt{\frac{1+\alpha t}{n(n-1)}}$$

ou, en désignant par s_1 la section de la soupape en centimètres carrés :

$$s_1^{cq} = S^{mq}\sqrt{\frac{1+\alpha t}{n(n-1)}}. \qquad (5)$$

Des ingénieurs des mines ont fait des expériences pour établir une formule administrative, et ils sont arrivés à

$$D = 1{,}3\sqrt{\frac{S}{n-0{,}412}} \qquad (6)$$

dans laquelle :
D est le diamètre de l'orifice en centimètres ;
n la pression absolue en atmosphères ;
S la surface de chauffe de la chaudière en mètres carrés.

Cette formule donne les mêmes résultats que la formule (5) que nous venons d'obtenir, mais on ne s'en est pas contenté et on a pris

$$D = 2,6\sqrt{\frac{S}{n - 0,412}} \qquad (7)$$

ce qui donne une section quatre fois plus grande.

Quoique les ordonnances de 1880 ne contiennent aucune prescription relative à la détermination du diamètre des soupapes, on se sert encore généralement de cette dernière formule.

802. Soupape à gorge Lethuillier et Pinel. — Les soupapes de sûreté du type ordinaire laissent bien échapper la vapeur dès que la tension atteint la valeur pour laquelle elles ont été réglées, mais elles ne se lèvent pas sensiblement tant que cette pression n'est pas notablement dépassée; ceci tient à ce que la pression exercée sur la face inférieure du clapet est moindre que celle existant dans la chaudière, dès que l'échappement commence à se produire.

La soupape de MM. Lethuillier et Pinel (fig. 462) a pour but de parer à cet inconvénient, et en même temps d'obtenir un soulèvement progressif pour éviter la dépression toujours dangereuse produite par un soulèvement brusque.

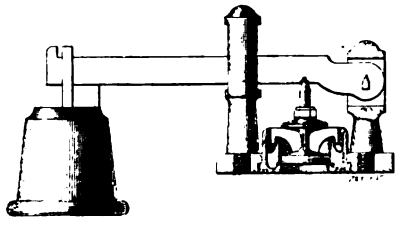


Fig. 462.

Le siège de la soupape est entouré d'un cylindre de quelques centimètres de hauteur, rétréci à sa partie supérieure.

Le clapet se compose de deux disques superposés laissant entre eux un espace libre dans lequel sont disposées quatre ailettes servant de guides. Le disque inférieur repose sur le siège de l'appareil.

Lorsque la pression de la vapeur dans la chaudière est sur le point d'atteindre sa tension limite, le clapet commence à se lever légèrement et la soupape « souffle ». Le clapet continuant à se soulever la vapeur s'échappe de plus en plus. Une partie s'écoule directement dans l'atmosphère et le reste agit sous le disque

supérieur de la soupape, ce qui force celle-ci à continuer son mouvement ascensionnel. Si le débit de la vapeur augmente, l'action sur le disque supérieur croît aussi, de sorte que le clapet se soulève de plus en plus. Dès que le clapet est assez levé, la pression baisse, l'action de la vapeur sur le disque supérieur diminue, le clapet redescend doucement et son mouvement se règle sur la décroissance de la pression. En réalité, le jeu du clapet n'est pas aussi régulier qu'il vient d'être dit; on observe une série d'oscillations dont l'amplitude et la durée variables dépendent en partie de l'allure de la chaudière.

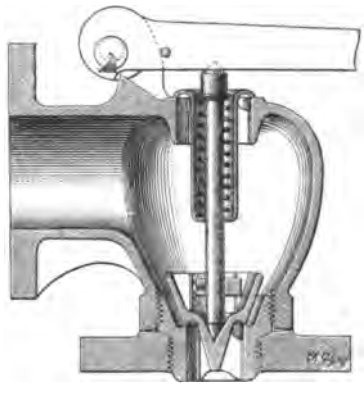


Fig. 463.

803. M. Dulac a établi une soupape à levée progressive que nous représentons figure 463. Elle se compose des éléments d'une soupape ordinaire, auxquels s'ajoute un *compensateur* formé d'un tronc de cône dont la petite base constitue la soupape et dont la grande émerge au-dessus d'un ajutage conique de manière qu'il reste entre celui-ci et la soupape un espace annulaire à section croissante. Quand la pression est voisine de la limite fixée par le timbre de la chaudière, la soupape commence à se soulever et, grâce à la force vive de la veine fluide qui agit sur le cône extérieur du clapet, le soulèvement s'accentue graduellement jusqu'à ce que la section d'écoulement soit suffisante pour limiter la pression.

La figure ci-dessus représente une soupape pourvue d'une enveloppe qui porte une tubulure permettant d'évacuer hors de la chambre de chauffe la vapeur qui se dégage.

Par des essais très intéressants, M. Walckenaer, ingénieur des mines, a montré que, dans une chaudière de 34 mq munie d'une soupape Dulac de 36 mm, la pression intérieure n'avait dépassé que de $0^k,5$ la pression initiale de soulèvement, tandis qu'une soupape ordinaire de 60 mm permettait un excès de $0^k,9$.

804. Soupape Hafner. — Elle se compose (fig. 464) d'un siège surmonté d'un rebord évasé, d'une soupape proprement dite, présentant sur toute sa circonférence et un peu au-dessus de sa base une légère saillie, et enfin d'un manchon mobile guidé par le prolongement supérieur de la soupape.

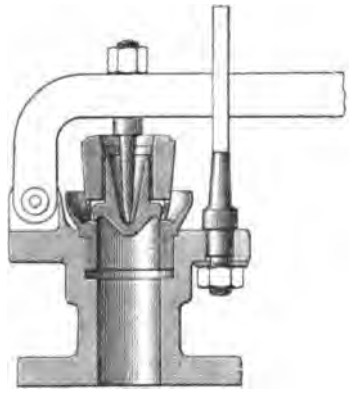


Fig. 464.

Les autres pièces rappellent celles d'une soupape ordinaire à levier ou à ressort.

Quand un excès de pression se produit, la soupape se soulève, glisse comme un piston dans le manchon et présente alors à l'action de la vapeur une surface plus grande que celle pour laquelle le contrepoids a été calculé ; le soulèvement se continue jusqu'à ce que la soupape s'applique contre le redan du manchon. Celui-ci est alors entraîné à son tour et l'ensemble se maintient soulevé de la quantité nécessaire pour assurer le dégagement de la vapeur en excès. Lorsque la pression normale est rétablie, les différents organes reprennent leur position première.

805. Soupape Adams. — M. Thomas Adams obtient très simplement un résultat analogue en disposant autour de l'obturateur et faisant corps avec lui un rebord contre lequel vient frapper la vapeur en mouvement (fig. 465). Ce rebord a la forme d'une gouttière renversée dont le profil est un demi-cercle de 10 millimètres et demi de diamètre.

Fig. 465.

Ajoutons que la charge est directe et produite par un ressort. M. Compère, ingénieur en chef de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur, a fait un grand nombre d'expériences qui ont démontré l'efficacité de l'évasement extérieur des soupapes.

806. Soupape Maurel et Truel. — La charge d'une sou-

pape par l'intermédiaire d'un levier présente cet inconvénient que, pendant le soulèvement du clapet, le rapport des bras de levier est modifié, ce qui tend à changer les conditions de fonctionnement de l'appareil. Il paraîtrait plus rationnel d'employer des charges directes, mais cela entraînerait en général l'installation de poids très lourds et il serait, par suite, difficile de vérifier que la soupape n'est pas collée sur son siège.

La disposition de MM. Maurel et Truel a pour but de diminuer l'importance du poids direct, en faisant agir celui-ci sur un piston auxiliaire dont la section est beaucoup plus faible que celle du clapet. L'appareil représenté (fig. 466) se compose d'une boîte cylindro-conique, dans laquelle débouchent deux conduits communiquant l'un avec la chaudière et l'autre avec l'atmosphère.

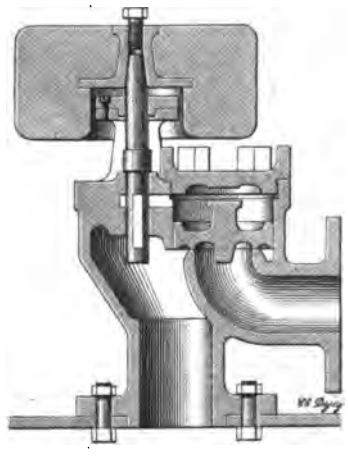


Fig. 466.

L'entrée de ce dernier, formant siège, est fermée par un clapet cylindrique de diamètre plus grand. La partie du clapet intérieure au siège est soumise à la pression de l'atmosphère et la zone annulaire débordant le siège est soumise directement à la pression de la chaudière.

Le clapet est logé dans un cylindre en communication avec la chaudière ou l'atmosphère par l'intermédiaire d'un conduit vertical alésé dans lequel passe un piston chargé de poids. Dans la position normale, le piston étant au bas de sa course, une rainure longitudinale permet à la pression de la chaudière de venir s'exercer sur la face supérieure du clapet ; la différence des pressions sur ses deux faces maintient celui-ci sur son siège. Lorsque la tension de la vapeur augmente suffisamment pour soulever le piston, celui-ci se déplace et ferme le passage de la vapeur ; le dessus du clapet ne supporte plus alors que la pression de l'atmosphère. La pression de la chaudière ne s'exerçant plus

que sur la zone annulaire inférieure du clapet soulève celui-ci et la vapeur s'échappe librement.

La base du piston auxiliaire reste sensiblement soumise à la pression statique de la vapeur et par suite ses mouvements sont réglés sur la variation réelle de tension dans la chaudière.

Lorsque la pression a suffisamment baissé, le piston retombe sur son siège et la soupape de nouveau pressée par la vapeur sur sa face supérieure se referme.

La course du piston auxiliaire est limitée par un épaulement qui vient buter contre une bague de guidage vissée sur des supports venus de fonte avec le couvercle de l'appareil.

Bien que la soupape et le piston soient établis avec un certain jeu pour faciliter les mouvements, on peut craindre que des incrustations ne se déposent sur la tige du piston et ne l'empêchent de se mouvoir en temps utile.

807. Nous représentons figure 467 une chaudière munie des

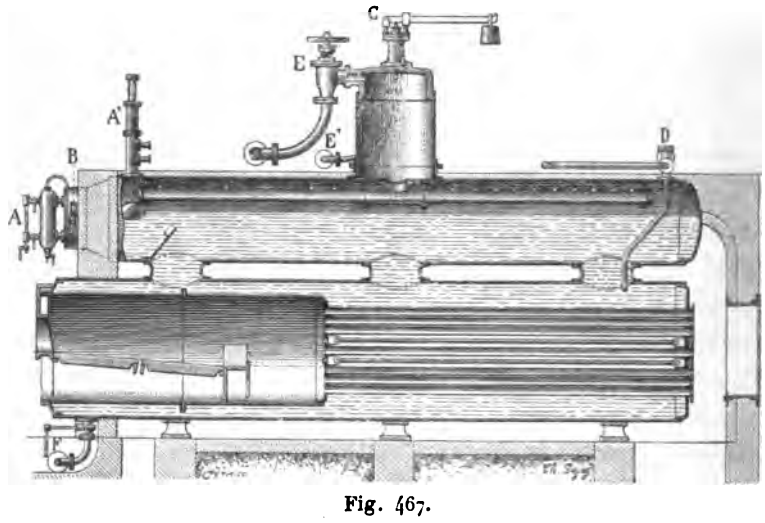


Fig. 467.

A. Indicateur de niveau à tube de verre.
A'. — ' — à flotteur avec sifflets d'alarme.
B. Manomètre.
C. Soupapes de sûreté.
D. Clapet de retenue d'alimentation.
E. Robinet de prise de vapeur.
E'. Robinet de prise de vapeur du giffard.
F. Robinet de vidange.

accessoires que nous avons mentionnés, afin de montrer le groupement de ces appareils sur un générateur.

ALIMENTATION DES CHAUDIÈRES.

808. On désigne, sous le nom d'alimentation, l'opération qui consiste à introduire dans la chaudière l'eau destinée à remplacer celle dépensée à l'état de vapeur ou autrement, et qui permet de maintenir le niveau du liquide dans les limites déterminées.

L'alimentation des chaudières à grand volume se fait ordinairement par un tube portant à sa partie supérieure deux tubulures dont l'une sert à l'alimentation et l'autre à la vidange sous pression.

Ce tube plonge dans l'eau et débouche généralement à l'arrière, c'est-à-dire dans la partie la moins chauffée ; il ne faut pas qu'il soit ouvert à son extrémité, surtout lorsque l'eau est froide et l'alimentation active, car alors cette eau, venant frapper la tôle fortement chauffée, produirait par refroidissement des contractions brusques qui ne tarderaient pas à entraîner des dislocations graves; on évite cet inconvénient en fermant l'extrémité du tube et en perçant latéralement une série d'orifices par lesquels l'eau s'échappe dans toutes les directions.

Le tuyau plongeur s'incruste fréquemment, car, pendant que l'alimentation est lente ou nulle, l'eau séjournant dans ce plongeur s'échauffe fortement et abandonne une certaine quantité des sels qu'elle tient en dissolution.

Il faut donc disposer ce tuyau de manière à pouvoir le démonter facilement pour le nettoyer et le débarrasser des dépôts incrustants qui viennent l'obstruer. Nous étudierons plus loin (§ XI) les moyens employés pour supprimer ou tout au moins diminuer considérablement ces dépôts.

Souvent, lorsque la chaudière est pourvue de bouilleurs, le tuyau d'alimentation pénètre par la partie supérieure du corps cylindrique principal, se bifurque, descend par les cuissards d'arrière dans les bouilleurs et vient se terminer à $0^m,05$ environ du bas de chacun d'eux. Cette disposition est employée lorsqu'on veut pouvoir vider la chaudière par le tuyau d'alimentation. Il vaut mieux alimenter directement dans le corps cylindrique supérieur et avoir un tuyau de vidange indépendant.

Dans les chaudières tubulaires le tuyau d'alimentation débouche ordinairement au-dessus du faisceau des tubes (fig. 467).

Pour les chaudières à vaporisation rapide, nous avons indiqué en les décrivant que l'alimentation se fait ordinairement dans le réservoir de vapeur surmontant la chaudière, afin que l'eau brusquement chauffée abandonne à l'état boueux la majeure partie des matières salines qu'elle renferme.

809. L'appareil d'alimentation primitivement employé consistait en un réservoir d'eau établi à une hauteur telle que la colonne de liquide ait un poids suffisant pour vaincre la pression intérieure de la chaudière. La manœuvre d'un robinet ou d'une soupape permettait l'entrée de l'eau. Ce dispositif a dû être abandonné dès que l'on a commencé à employer des pressions élevées.

Les appareils généralement employés aujourd'hui sont : la bouteille alimentaire, l'injecteur ou giffard et la pompe.

BOUTEILLE ALIMENTAIRE.

810. Cet appareil peut servir dans presque tous les cas, mais il est surtout employé lorsqu'on veut alimenter avec de l'eau chaude et qu'on ne dispose pas de force motrice. C'est le cas ordinaire des chaudières à vapeur à basse pression employées pour le chauffage des lieux habités.

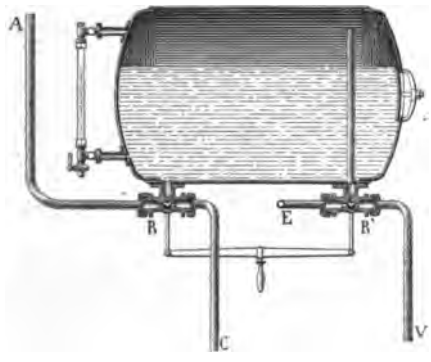


Fig. 468.

Les dispositions d'ensemble et de détail des bouteilles sont très variables, et dépendent des exigences de l'installation; mais on doit toujours les établir à une certaine hauteur au-dessus du niveau de l'eau dans la chaudière.

En principe, la bouteille d'alimentation (fig. 468) consiste en un cylindre en tôle de dimensions variables, pourvu d'un niveau

d'eau et muni à sa partie inférieure de deux tubulures garnies chacune d'un robinet à trois voies.

L'une des tubulures est surmontée d'un tuyau qui s'élève jusqu'à la région supérieure du cylindre à un niveau que l'eau ne doit pas atteindre; le robinet qui lui correspond établit la communication soit avec la chambre de vapeur de la chaudière par le tuyau V, soit avec l'atmosphère par le tuyau E; le robinet R établit la communication avec le réservoir d'eau d'alimentation par A et avec le fond de la chaudière par C. Les manettes de R et R' sont quelquefois réunies par une tige rigide qui rend simultanée la manœuvre des deux robinets.

Voici la marche à suivre pour effectuer une opération à l'aide de cet appareil.

En poussant les manettes vers la droite, on met la capacité intérieure en communication avec l'atmosphère et le réservoir d'eau. Le liquide pénètre dans le corps cylindrique en chassant l'air ou la vapeur qu'il renferme; on laisse arriver l'eau jusque près du sommet du tuyau amenant la vapeur. On fait alors la manœuvre inverse et la communication se trouve établie avec le réservoir de vapeur et la chambre d'eau de la chaudière. Dès que la pression du générateur s'est établie dans la bouteille, l'eau descend par son propre poids et l'alimentation commence effectivement. L'indicateur à tube de verre permet de connaître à tout instant la hauteur d'eau existant dans la bouteille.

Lorsque l'eau destinée à l'alimentation se trouve en contrebas du niveau de la chaudière, on doit d'abord élever le liquide dans la bouteille, ce qui peut se faire de deux façons :

1° Par refoulement, en établissant au-dessus de l'eau renfermée dans un réservoir étanche la pression de la chambre de vapeur de la chaudière, et mettant l'intérieur de la bouteille en communication avec l'atmosphère.

2° Par aspiration, en faisant le vide dans la bouteille par la condensation de la vapeur contenue, et laissant la pression atmosphérique s'exercer librement à la surface du liquide à élever. Il est évident que, dans ce dernier cas, la hauteur d'élé-

vation est toujours inférieure à $10^m,33$ et qu'elle sera d'autant moindre que l'eau sera plus chaude.

La bouteille alimentaire est très employée; son fonctionnement est simple, mais son rendement mécanique est extrêmement faible. C'est un appareil dont l'emploi est peu économique.

On a établi des bouteilles alimentaires fonctionnant automatiquement dès que le niveau de l'eau dans la chaudière s'abaisse au-dessous d'un point déterminé, mais ces appareils sont en général compliqués et assez délicats, ce qui fait qu'ils sont peu employés.

INJECTEUR.

811. L'injecteur dont l'invention est due à Giffard est un appareil d'alimentation d'un usage presque universel et qui rend les plus grands services. Il permet l'alimentation des locomotives, même pendant les stationnements, ce qui n'était pas possible lorsqu'on se servait de pompes alimentaires commandées par les organes des machines. Le poids et les dimensions minimes de l'injecteur justifient son installation à bord de certains navires à grande vitesse et de faible tonnage. Enfin il est employé dans les installations de chaudières fixes, soit pour l'alimentation normale, soit comme appareil de secours. L'injecteur ne permet pas d'alimenter les chaudières avec de l'eau très chaude.

Le fonctionnement de l'appareil repose sur le principe suivant : un jet de vapeur généralement emprunté à la chaudière détermine l'entraînement du liquide destiné à l'alimentation de celle-ci ; il se produit un mélange intime de l'eau et de la vapeur. et la masse fluide peut être lancée à l'air libre, avec une vitesse suffisante pour vaincre la résistance exercée par la pression intérieure et forcer l'entrée de la chaudière.

L'injecteur (fig. 469) comporte : 1° deux ajutages coniques convergents et ayant même axe. L'un, communiquant avec l'arrivée d'eau, enveloppe le second qui sert à lancer la vapeur;

2° Un cône divergent disposé à la suite des premiers, mais toujours sur le même axe et servant au refoulement dans la chaudière du mélange de vapeur et d'eau.

Pour mettre l'appareil en train on ouvre légèrement le robinet d'arrivée de la vapeur; celle-ci sortant par le tuyau DI pénètre sous forme de jet dans l'ajutage conique de la chambre T et entraîne l'air qui se trouve renfermé dans cette dernière; il en résulte une dépression qui détermine l'aspiration de l'eau par le tuyau H. Cette eau vient remplir la chambre T et entoure le jet de vapeur qui l'entraîne en se condensant; toute la masse prend une vitesse commune et sort par le second ajutage convergent. L'amorçage est produit et l'on voit couler à l'extérieur, par le

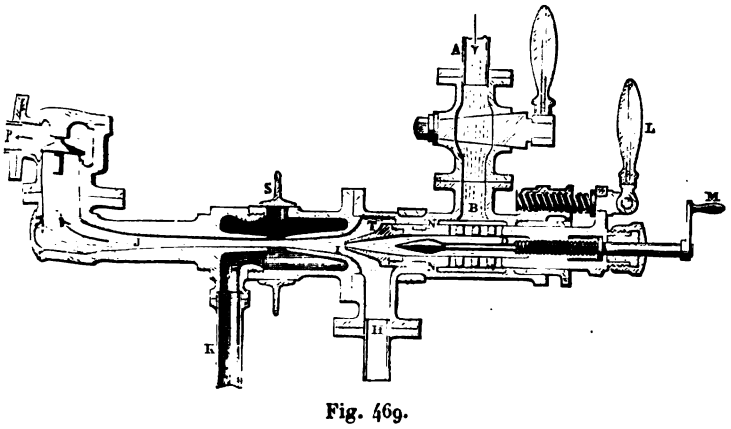


Fig. 469.

trop-plein K, un jet de liquide dont la température est supérieure à celle de l'eau du réservoir dans lequel se fait l'aspiration. Puis, en ouvrant graduellement le robinet d'admission de la vapeur, la vitesse d'écoulement augmente et il arrive un moment où elle est suffisante pour que la masse fluide, lancée dans le cône divergent J, pénètre dans la chaudière.

Nous allons essayer de donner un aperçu de ce qui se passe dans l'injecteur en établissant sommairement les conditions de fonctionnement dans chacune des deux parties composant l'appareil.

1° *Ajutages convergents.* — Désignons par :

t la température de l'eau aspirée;

Q le poids d'eau aspiré dans l'unité de temps;

q le poids de vapeur projetée;

t_1 la température du mélange;

λ la chaleur totale de la vapeur à son entrée dans l'injecteur.

On peut, en négligeant diverses causes de pertes, exprimer que la chaleur que contenait la vapeur se retrouve complètement dans la masse fluide en mouvement et on a ainsi entre les différentes quantités énumérées ci-dessus la relation

$$Q(t_1 - t) = q(\lambda - t_1) \text{ ou } Q = q\frac{\lambda - t_1}{t_1 - t}. \qquad (1)$$

Cette relation montre que, quand q et t sont constants, si la quantité d'eau mise en mouvement diminue, la température t_1 à la sortie des cônes convergents augmente, et réciproquement.

Si le poids de vapeur q est trop considérable, il ne pourra s'écouler au dehors sans créer une certaine pression dans la chambre T et l'aspiration ne se fera pas; de même, si l'eau d'alimentation est trop chaude, elle émettra des vapeurs dont la tension pourra égaler ou même dépasser la dépression produite dans l'injecteur et empêcher le fonctionnement, on voit donc qu'il y a intérêt à diminuer le plus possible ces deux quantités q et t.

Calculons la vitesse du mélange. Si nous appelons :

V la vitesse de la vapeur injectée;

u la vitesse moyenne de l'eau aspirée;

v la vitesse finale;

nous aurons, en appliquant le théorème de la quantité de mouvement, l'équation

$$v(Q + q) = Qu + qV$$

dans laquelle nous avons remplacé les masses par les poids.

Le produit Qu étant très petit par rapport à qV peut être négligé et l'équation devient

$$(Q + q)v = qV$$

ou

$$v = \frac{1}{1 + \frac{Q}{q}} V. \qquad (2)$$

Cette équation exprime que v diminue à mesure que Q augmente ; on comprend, en effet, que plus un même poids de vapeur aspire d'eau, moins il lui imprime de vitesse.

Afin d'obtenir une vitesse suffisante pour refouler dans la chaudière, il faut augmenter le poids q de vapeur injectée, mais nous venons de voir que pour produire l'aspiration, q doit être aussi réduit que possible.

Ceci explique la manœuvre usitée qui consiste à envoyer d'abord un mince filet de vapeur pour amorcer l'injecteur, puis à renforcer le jet de vapeur pour produire le refoulement.

2° *Ajutage divergent.* — L'eau mise en mouvement par le jet de vapeur pénètre dans l'ajutage divergent où s'opère la transformation en pression de la vitesse qu'elle possède à l'entrée de cet ajutage. Pour se rendre compte de ce fait, on suppose que le sens du mouvement étant seul changé, les conditions soient, dans chaque section, les mêmes que si l'on faisait écouler l'eau de la chaudière par le même ajutage.

Si la forme de l'ajutage est convenable, il n'y a pas de remous, et dans une section donnée, la vitesse des molécules est sensiblement la même.

Soit ω la section minima et v la vitesse en ce point ; en désignant par ω_1 et v_1 les quantités correspondantes dans une autre section, nous avons la relation :

$$\omega v = \omega_1 v_1$$

or v et v_1 satisfaisant à la loi sur l'écoulement des liquides, sont données par les équations

$$v^2 = 2g(H - H_0)$$
$$v_1^2 = 2g(H - H_1).$$

H étant la pression absolue dans la chaudière ;
H_1 la pression dans la section ω ;
H_0 la pression à la pointe de l'ajutage.

On tire des deux équations précédentes

$$v^2 - v_1^2 = 2g(H_1 - H_0)$$

ou

$$H_1 - H_0 = \frac{v^2 - v_1^2}{2g}.$$

En éliminant v_1 on a

$$H_1 = H_0 + \frac{v^2}{2g}\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_1^2}\right). \qquad (3)$$

Les pressions sont donc variables dans chaque section et vont en diminuant à mesure qu'on se rapproche du sommet du cône.

Si, réciproquement, on communique au liquide une vitesse v suffisante pour le faire entrer dans la chaudière, la relation subsiste et la pression va en augmentant dans l'ajutage à mesure qu'on se rapproche de la chaudière.

L'appareil ne pourra fonctionner que si la vitesse v de la masse fluide sortant des ajutages convergents est suffisante. Nous avons montré plus haut comment on peut faire varier cette vitesse pour obtenir le résultat cherché.

Nous avons fait observer qu'il y avait intérêt à diminuer la température t, de l'eau d'alimentation. On peut le montrer directement ; reprenons l'équation (1)

$$Q = q\frac{\lambda - t_1}{t_1 - t}.$$

λ est sensiblement égal à 650, nous pouvons donc écrire

$$Q = q\frac{650 - t_1}{t_1 - t}.$$

Or t_1 est forcément inférieur à 100°, puisque par hypothèse le fluide qui se trouve à l'entrée du cône divergent est liquide ; on a donc

$$Q > q\frac{550}{100 - t}.$$

On voit que cette inégalité est d'autant plus difficile à satisfaire que t augmente davantage, c'est-à-dire que l'on alimente avec de l'eau plus chaude.

On a constaté, en pratique, que l'injecteur peut être employé

à partir d'une pression effective de 1/5 d'atmosphère et à toutes les pressions généralement usitées dans les chaudières à vapeur, mais que, pour son fonctionnement, il est nécessaire que l'eau soit suffisamment froide ; que, de plus, le volume d'eau introduit à l'aide d'une quantité donnée de vapeur diminue à mesure que la pression dans la chaudière augmente. Ce dernier résultat pouvait d'ailleurs se prévoir. En effet, pour vaincre une pression plus forte dans la chaudière, il faut augmenter la vitesse v, donnée par l'équation (2). Mais pour des pressions élevées, la vitesse V de la vapeur variant très peu, on ne peut agir sur v qu'en augmentant q, c'est-à-dire en injectant une plus grande quantité de vapeur, ce qui élève la température t_1 et nous avons vu que cette élévation de température avait pour conséquence de diminuer le poids d'eau entraîné.

812. Injecteur Giffard. — Nous représentons (fig. 469) la disposition d'un injecteur Giffard. AB est le tuyau d'amenée de vapeur communiquant par une série de petits trous avec le tube D que termine une tuyère T ; à l'intérieur de D se meut une tige, en partie filetée et conique à son extrémité, qui reçoit son mouvement de la manivelle M et sert à régler le passage de la vapeur. En H est le tuyau d'aspiration par lequel l'eau est appelée autour de la tuyère T et vient se mélanger avec le jet de vapeur qui produit l'entraînement. Pour faire varier la section de passage autour de la tuyère T, et par suite le débit de l'eau aspirée, on agit sur un levier L qui commande une vis à pas rapide et dont l'office est de faire avancer ou reculer le tuyau D et avec lui tout le système qu'il porte.

L'eau aspirée se trouve lancée par la tubulure conique I, pénètre dans l'ajutage divergent J et se rend à la chaudière par le tuyau P, après avoir franchi la soupape de retenue d'alimentation. En K est un tuyau de trop-plein et en S un regard qui permet de constater le fonctionnement de l'appareil, le filet d'eau se voyant distinctement entre les deux ajutages coniques.

Pour mettre l'injecteur en marche, on ouvre d'abord le robinet d'admission de vapeur placé sur AB, puis on agit sur la mani-

velle M de manière à ne laisser passer que le mince filet de vapeur nécessaire pour produire l'aspiration de l'eau.

Dès que celle-ci coule par le trop-plein K, on augmente rapidement l'introduction de vapeur jusqu'à ce que l'eau aspirée soit refoulée dans la chaudière. En réglant l'entrée de la vapeur et l'arrivée de l'eau, on parvient facilement à supprimer le déversement du liquide par le trop-plein.

Lorsque l'injecteur est en fonction, il fait entendre un sifflement particulier dû au passage de la veine liquide dans les ajutages coniques et à l'aspiration d'air qui se produit par l'orifice du trop-plein.

Cette introduction d'air est nuisible, surtout lorsque la vapeur est utilisée dans des machines à condensation. Pour l'éviter, Giffard a modifié son appareil et a construit un injecteur à jet renfermé (fig. 470), destiné principalement aux chaudières ma-

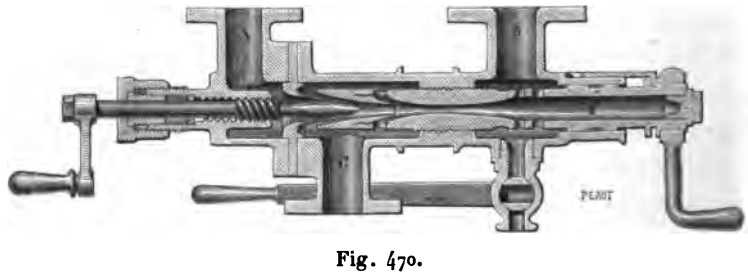


Fig. 470.

rines. Dans cette disposition, les ajutages convergent et divergent sont réunis et le trop-plein, communiquant avec la chambre de refoulement à la chaudière, est muni d'un robinet qu'on ferme dès que l'injecteur est amorcé. On renforce alors rapidement le jet de vapeur jusqu'à ce que l'eau refoulée soulève le clapet de retenue et pénètre dans la chaudière.

813. Injecteur Polonceau. — Dans l'appareil qu'il a étudié, M. Polonceau s'est appliqué à simplifier la manœuvre de l'injecteur et à en disposer l'intérieur de façon à réduire le plus possible les résistances au mouvement de l'eau.

Les cônes (fig. 471) sont fixes, mais on peut faire varier le débit dans des limites très étendues en agissant sur l'injection

de vapeur. La tige ou aiguille qui ferme le cône de sortie de vapeur n'est pas filetée et se manœuvre directement par un levier à fourche. Elle est plus robuste que dans les injecteurs ordinaires et elle est percée d'un canal en forme de T, par lequel passe, à la mise en train, le filet de vapeur destiné à produire l'amorçage. Un double guidage empêche tout déplacement latéral de l'aiguille

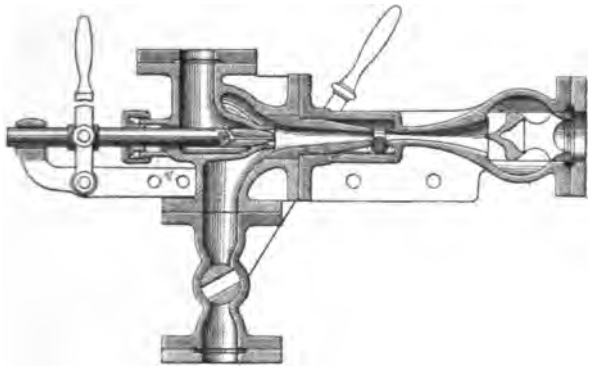


Fig. 471.

dont l'axe se confond avec celui des cônes de l'appareil; l'expérience a montré que cette coïncidence était essentielle pour le bon fonctionnement des injecteurs.

La mise en marche s'effectue en poussant l'aiguille à fond et en ouvrant le robinet de vapeur. Celle-ci passe par le canal de l'aiguille, chasse l'air et aspire l'eau qui vient bientôt couler par le trop-plein. On agit alors sur le levier de commande de l'aiguille et on renforce le jet de vapeur jusqu'à ce que toute l'eau aspirée soit refoulée dans la chaudière.

L'arrivée d'eau peut être également réglée par la manœuvre du robinet placé sur le tuyau d'aspiration. Le trop-plein porte une soupape que l'on peut fermer dès que l'injecteur est en fonction, afin d'éviter l'introduction de l'air dans la chaudière.

Un injecteur dont le plus petit diamètre de l'ajutage divergent a 9 millimètres peut, lorsque la pression est de 10 kilogr., débiter au maximum 110 litres par minute.

814. Injecteur Koerting. — Cet appareil comprend (fig. 472) deux injecteurs juxtaposés dans un même corps et

communiquant à la partie supérieure par la chambre d'arrivée de vapeur. Le premier, celui de gauche, appelé éjecteur, aspire l'eau d'alimentation et l'envoie dans le second, qui lui-même la refoule dans la chaudière. Les deux cônes d'arrivée de vapeur sont surmontés de soupapes commandées par un petit balancier qui les tient fermées quand l'appareil est au repos.

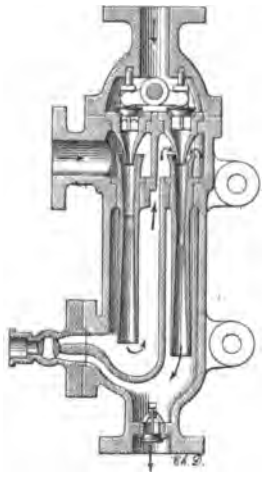


Fig. 472.

Pour alimenter, on soulève la soupape de l'éjecteur et on ouvre le robinet de trop-plein. L'aspiration se produit, l'eau vient remplir l'appareil et s'échappe à l'extérieur. On ouvre alors la soupape de l'injecteur de droite et on ferme le trop-plein. Toute l'eau est donc obligée de passer par la deuxième tuyère ; la soupape de retenue cède et l'alimentation commence. Pour arrêter l'alimentation, on ferme la soupape de l'éjecteur et ensuite celle de l'injecteur.

Toutes ces manœuvres se font très rapidement et sans interruption à l'aide d'un seul levier convenablement relié au robinet et aux soupapes.

Nous ferons remarquer que, le robinet de trop-plein étant fermé pendant le fonctionnement, le chauffeur risque de n'être pas averti si l'appareil vient à se désamorcer.

Cet injecteur peut, au dire des inventeurs, puiser de l'eau à 70°, quand la bâche d'alimentation est au niveau de l'appareil, ou l'aspirer à 7 mètres de hauteur, quand elle est froide.

815. Auto-injecteur Cuau. — Dans certains cas, le réservoir d'alimentation de l'injecteur peut être placé au-dessus de ce dernier. Pour ce cas particulier, on construit des injecteurs non aspirants.

M. Cuau établit un injecteur non aspirant représenté (fig. 473) et destiné à recevoir l'eau en charge ; cet appareil est alimenté, soit par un réservoir placé au-dessus de lui, soit par une conduite d'eau sous pression.

Le fonctionnement s'obtient en ouvrant d'abord le robinet d'eau et ensuite le robinet de vapeur.

Cet appareil est très simple, peu volumineux et ne comporte aucune pièce mobile, ce qui est toujours avantageux.

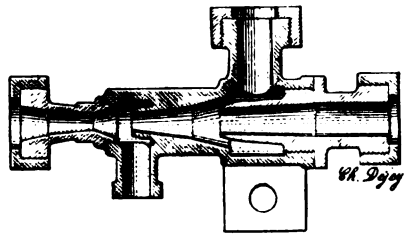


Fig. 473.

816. Injecteurs à remise en marche automatique. — L'injecteur ordinaire aspirant ou non présente l'inconvénient suivant : l'appareil étant réglé et en marche, on constate parfois qu'il cesse tout à coup de fonctionner. La vapeur s'échappe alors par le trop-plein et il faut recommencer l'opération de la mise en service. Les injecteurs à remise en marche automatique ont pour but, lorsque l'eau d'alimentation vient à manquer, de fournir à la vapeur une section de passage suffisante pour lui permettre de s'échapper directement sans créer une pression nuisible dans l'appareil.

Aussitôt que les conditions normales de marche se représentent, l'appareil se remet à fonctionner sans qu'il soit nécessaire de le régler à nouveau.

Il existe différentes dispositions pour obtenir ce résultat. Nous nous contenterons d'indiquer trois des divers types employés.

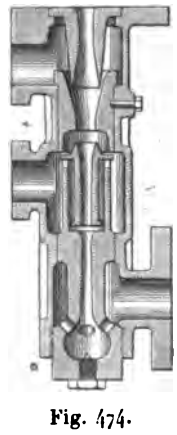


Fig. 474.

817. Injecteur Gresham. — En principe, cet appareil (fig. 474) comprend, comme les autres injecteurs, les trois cônes d'arrivée de vapeur, d'arrivée d'eau et de refoulement, mais celui du milieu est divisé en deux parties de longueur à peu près égale, laissant entre elles un certain espace libre ; la partielarge du cône est fixe, l'autre est mobile dans la chambre de trop-plein et se tient éloignée de la précédente par l'effet de la pesanteur.

Lorsque l'appareil est mis en fonctionnement, le mélange d'eau et

de vapeur franchit, en vertu de sa force vive, l'espace qui sépare les deux parties du cône d'arrivée d'eau et produit à l'intérieur une dépression dont l'effet est de faire appliquer la partie mobile sur la partie fixe; l'appareil fonctionne alors comme un injecteur ordinaire.

Si l'eau vient à manquer, le jet est interrompu et la dépression cesse d'exister; le cône mobile retombe alors, la section de passage se trouve augmentée et la vapeur s'échappe librement jusqu'à ce que l'eau vienne de nouveau produire la condensation.

On peut remarquer que, dans les appareils de cette sorte qui ne sont pas aspirants, on peut, lors de la mise en marche, ouvrir d'abord l'eau ou la vapeur indifféremment.

818. Éjecto-injecteur Cuau. — Dans cet appareil à remise en marche automatique, le cône d'eau est interrompu en son milieu comme dans l'appareil précédent, mais avec cette différence, que dans l'injecteur de M. Cuau aucune partie du cône n'est mobile. Il existe seulement, à la sortie du trop-plein, une soupape qui reste appliquée sur son siège tant que l'injecteur fonctionne normalement. Elle se soulève lorsque l'injecteur se désamorce accidentellement, car dans ce cas, l'eau ne condensant plus la vapeur lancée dans l'appareil, il se produit un léger excès de pression dans la chambre de trop-plein. Dès que l'eau se trouve aspirée de nouveau, elle condense la vapeur, la soupape se referme et l'appareil reprend son service.

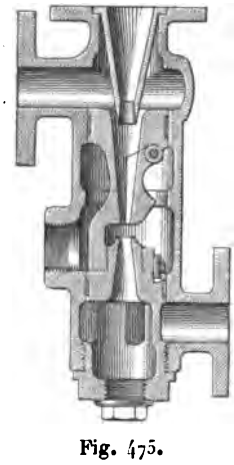


Fig. 475.

819. Injecteur Hamer, Metcalfe et Davies. — Le principe de cet injecteur (fig. 475) est à peu près le même que celui de l'appareil Gresham, seulement le cône d'arrivée d'eau, au lieu de s'ouvrir suivant un cercle parallèle à sa base, s'ouvre au moyen d'une charnière suivant deux génératrices diamétralement opposées.

On peut employer pour faire fonctionner cet injecteur la vapeur d'échappement des machines sans condensation. Mais lorsqu'on a besoin de refouler à une pression supérieure à 5 kilogrammes,

on complète l'action de l'appareil par une injection de vapeur directe.

POMPE ALIMENTAIRE.

820. Pompe alimentaire. — La pompe est un appareil d'alimentation très employé pour le service des chaudières fixes. Elle peut fonctionner avec de l'eau froide ou de l'eau chaude, à volonté. Seulement, dans ce dernier cas, le liquide doit autant que possible arriver en charge, sinon la dépression produite par l'aspiration peut déterminer une production de vapeur qui, remplissant le corps de pompe, empêche l'alimentation.

La pompe alimentaire est, en général, actionnée par la machine que dessert le générateur, ou bien elle est combinée avec un petit moteur à vapeur direct et prend le nom de *petit cheval.*

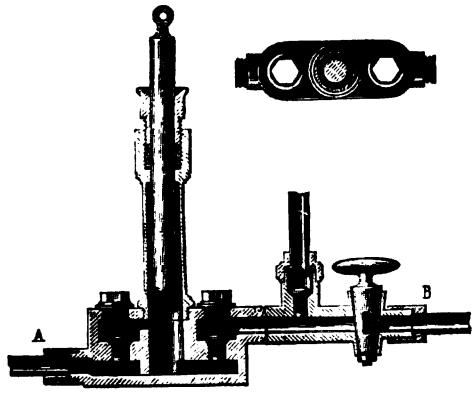


Fig. 476-477.

Les figures 476 et 477 indiquent les dispositions principales d'une pompe d'alimentation.

Elle se compose d'un corps de pompe à piston plongeur et muni de deux soupapes disposées, l'une à l'extrémité du tuyau d'aspiration A venant de la bâche qui renferme l'eau d'alimentation, et l'autre à l'extrémité de la conduite de refoulement B allant à la chaudière.

Sur la conduite B se trouve placé un robinet qui permet d'interrompre la communication avec le générateur, lorsque le ni-

veau normal est atteint. L'eau retourne alors à la bâche d'alimentation par un tuyau auxiliaire placé en avant de ce robinet. Ce tuyau est pourvu d'une soupape de retour (fig. 478) chargée d'un poids supérieur à celui qui correspond à la pression dans la chaudière.

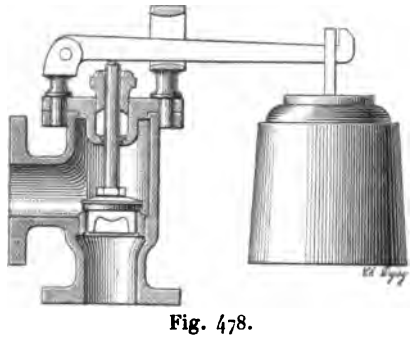


Fig. 478.

Tant que le robinet d'alimentation est ouvert, la soupape reste appliquée sur son siège; aussitôt qu'il est fermé, la soupape se lève et l'eau refoulée retourne à la bâche. On règle parfois le robinet de façon à rendre continue l'alimentation de la chaudière, et l'excès d'eau fourni par la pompe, à chaque coup de piston, retourne à la bâche dans laquelle se fait l'aspiration.

On peut encore employer, pour la fermeture de la conduite B, un robinet à trois voies disposé de telle manière que, lorsqu'on interrompt la communication avec le générateur, on ouvre celle de retour à la bâche. Dans ce cas, le travail dépensé pour l'alimentation se trouve réduit au minimum, puisque la pompe ne produit plus qu'un travail peu important dès qu'on cesse de refouler dans la chaudière.

821. Pompe Belleville. — Cette pompe, à double effet et à action directe, se compose d'un cylindre à vapeur et d'un corps de pompe pourvus chacun d'un piston et disposés suivant le même axe, sur le même bâti. Les deux pistons sont reliés au moyen d'une tige traversant deux presse-étoupe disposés sur les cylindres. Cette tige porte en son milieu un renflement qui fait pencher alternativement à droite et à gauche un levier à fourche actionnant le tiroir de distribution de vapeur. Le piston de la pompe est garni de segments en caoutchouc durci du système Giffard, laissant une légère fuite pour permettre à l'eau de passer d'un côté à l'autre, ce qui fait que la pompe, au lieu de s'arrêter, ralentit seulement son mouvement, lorsque la conduite de refoulement est fermée.

Les dispositions réalisées dans cet appareil permettent aux pistons de franchir les points morts, même aux plus faibles vitesses, et empêchent « l'emballement, » lorsque la pompe marche à vide. Certains types sont pourvus d'un condenseur.

822. Pompe Stapfer. — L'originalité de cette pompe à double effet et à action directe réside principalement dans la distribution de vapeur, qui s'effectue au moyen d'un piston-tiroir dont le déplacement s'obtient automatiquement. A cet effet, un petit piston distributeur, relié au piston moteur par un levier, laisse la vapeur exercer son action alternativement sur l'une ou l'autre face du piston-tiroir et produit le va-et-vient de ce dernier. A chaque fin de course, l'admission change de sens, et le piston moteur revient en sens inverse, entraînant avec lui le piston distributeur dont la position détermine en temps utile le déplacement du tiroir. La pompe Stapfer ne comporte aucun volant et ne présente pas de point mort. Les clapets sont faciles à visiter et à entretenir. Ils sont en métal toutes les fois qu'on alimente avec de l'eau chaude ou qu'on refoule à des pressions supérieures à 3 kilogrammes. Lorsqu'on élève des eaux froides à une hauteur inférieure à 30 mètres, la pompe peut être pourvue de clapets en caoutchouc.

823. Pompe Worthington. — Cet appareil d'alimentation, caractérisé par ses deux corps et l'arrêt alternatif des pistons,

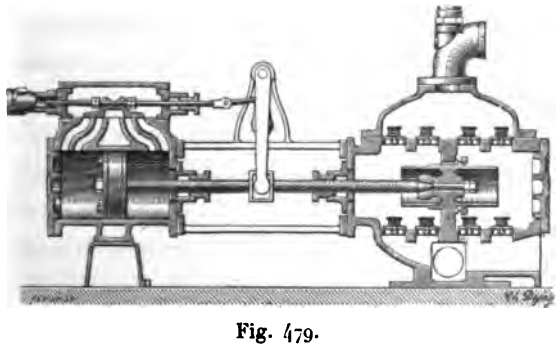


Fig. 479.

est représenté en coupe longitudinale (fig. 479). Il se compose de deux pompes à vapeur, à action directe, à double effet, acco-

lées sur le même bâti et disposées de manière à ne constituer qu'une seule machine. La partie de droite actionne le tiroir de distribution de vapeur de celle de gauche, et *vice versa*.

Les deux pompes ne fonctionnent pas simultanément d'une manière continue ; l'une est au repos pendant une certaine fraction de la course de l'autre. Avant d'arriver à fin de course, le piston agissant ouvre l'admission de vapeur de la seconde pompe, dont le piston entre en mouvement et ferme la distribution de la première. Le piston de celle-ci s'arrête et ne peut reprendre sa marche en sens contraire avant que le second piston ne soit lui-même arrivé près de l'extrémité de sa course et n'ait, avant de s'arrêter à son tour, ouvert de nouveau l'admission de vapeur de la première pompe.

Cette marche alternée est la caractéristique de l'appareil. Elle permet d'éviter les points morts, puisque l'une des deux distributions de vapeur est toujours ouverte. En outre, l'arrêt du piston à la fin de sa course laisse aux clapets le temps de redescendre sur leur siège, quelle que soit l'allure de marche.

824. Pompe à régulateur de vitesse, système Thirion. — Une pompe alimentaire pourvue d'un moteur à vapeur qui lui est propre, prend ordinairement, lorsqu'elle manque d'eau à l'aspiration, une vitesse croissante et qui s'accélère rapidement. On dit, dans ce cas, que la pompe « s'emballe ».

Pour parer automatiquement à cet inconvénient, M. Thirion a imaginé une disposition ingénieuse d'une grande simplicité et que nous allons décrire (fig. 480).

Un tuyau en cuivre de 0,015 à 0,020 de diamètre établit au moyen de deux branchements presque capillaires, une communication permanente entre l'avant et l'arrière du piston à eau de la pompe. Un autre branchement, de même diamètre que le tuyau principal, relie ce dernier avec un régulateur cylindrique pourvu de deux pistons de diamètres différents, celui du dessous étant le plus grand ; c'est sous ce dernier que débouche le branchement, tandis que le dessus du petit piston est réuni, par un tuyau spécial, au réservoir de refoulement de la pompe.

L'intervalle entre les deux pistons reste en libre communication avec l'atmosphère. Ceux-ci sont d'ailleurs mobiles dans leur cylindre respectif; mais comme ils sont fixés sur la même tige rigide, leurs mouvements sont rendus solidaires et sont transmis au papillon du distributeur de vapeur par l'intermédiaire d'un levier articulé.

L'expérience montre que la pression obtenue sous le grand

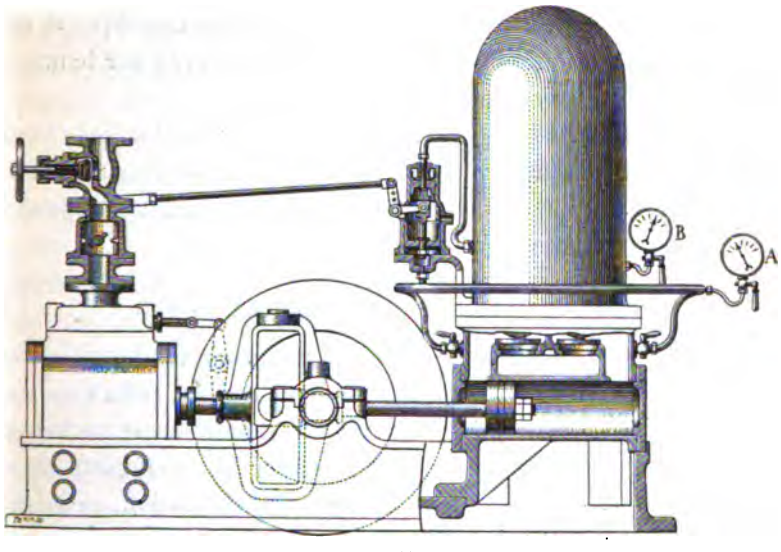


Fig. 480.

piston du régulateur reste sensiblement la moitié de celle qui existe dans le réservoir de refoulement tant que la pompe aspire de l'eau, et que cette pression tombe dès que l'aspiration amène de l'air. En donnant à ce piston un diamètre suffisant pour que la pression totale qui s'exerce sur sa face inférieure, pendant la marche normale, l'emporte sur celle qui s'exerce au-dessus du petit piston, le régulateur se trouve maintenu dans la position pour laquelle le papillon est complètement ouvert.

Au contraire, lorsque la pompe aspire de l'air, la pression sous le piston inférieur tombe et devient inférieure à la pression totale qui s'exerce sur le piston supérieur. Il se produit aussitôt un mouvement de descente des pistons, lequel déter-

mine la fermeture du papillon. Le cylindre à vapeur n'étant plus alimenté suffisamment, la pompe marche avec lenteur jusqu'au moment où, l'aspiration fournissant de l'eau, la pression normale se rétablit sous le grand piston. Le mouvement ascendant de celui-ci fait alors rouvrir le papillon, et la pompe reprend bien vite son allure normale.

Dans la figure que nous donnons, la pompe est représentée aspirant de l'eau, le manomètre A fixé sur la conduite aboutissant sous le grand piston du régulateur indique par conséquent une pression de moitié moins élevée que celle observée sur le manomètre B relié au réservoir de refoulement.

Ces pompes sont toujours à double effet et jumelles, les excentriques des distributeurs sont calés à 90° l'un de l'autre afin de supprimer les points morts; leur usage s'est beaucoup répandu, principalement dans la marine.

RÉGULATEURS AUTOMATIQUES D'ALIMENTATION.

Nous avons déjà indiqué combien il est important de maintenir le niveau à peu près constant dans les chaudières; on ne peut y arriver qu'en réglant avec soin l'alimentation, ce qui exige une grande attention de la part du chauffeur; aussi a-t-on songé à opérer ce réglage au moyen d'appareils automatiques auxquels on a donné le nom de *régulateurs d'alimentation.*

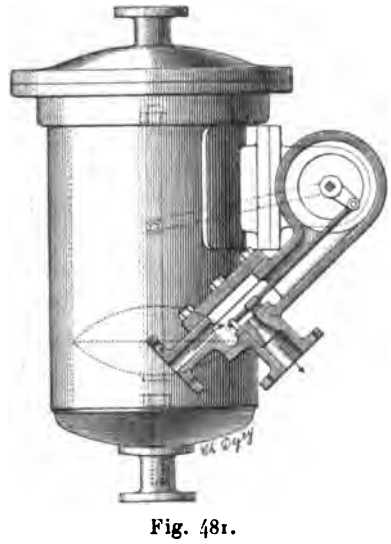


Fig. 481.

Nous allons indiquer quelques types de ces appareils.

825. Régulateur d'alimentation Geneste et Herscher. — Cet appareil, représenté figure 481, comprend un corps cylindrique à fonds bombés, communiquant avec la chaudière par deux tubulures,

comme les indicateurs de niveau, et renfermant un flotteur. Celui-ci est pourvu d'une tige verticale reliée par l'intermédiaire d'un levier à un arbre logé dans une chambre cylindrique placée sur le côté de l'appareil. Sur cet arbre est calée une petite manivelle actionnant une bielle; celle-ci entraîne dans son mouvement un tiroir qui ouvre ou ferme l'orifice destiné à laisser passer l'eau alimentant la chaudière. La pression de l'eau refoulée par l'appareil d'alimentation maintient constamment le tiroir appuyé sur sa glace.

L'arbre dont nous venons de parler se prolonge à l'extérieur et porte à son extrémité une aiguille qui indique le niveau de l'eau dans la chaudière et permet en même temps de contrôler le fonctionnement de l'appareil. Un joint conique assure l'étanchéité au passage de la tige à travers la paroi.

826. Régulateur d'alimentation Lethuillier et Pinel. — Le réglage de l'alimentation dans cet appareil s'obtient à l'aide d'un papillon commandé par un levier relié à un flotteur (fig. 482). L'eau d'alimentation arrive par un tuyau A à l'extrémité d'une chambre cylindrique partagée en deux parties par une cloison verticale C percée de plusieurs ouvertures et devant laquelle se meut un papillon muni d'un nombre égal d'ouvertures semblables.

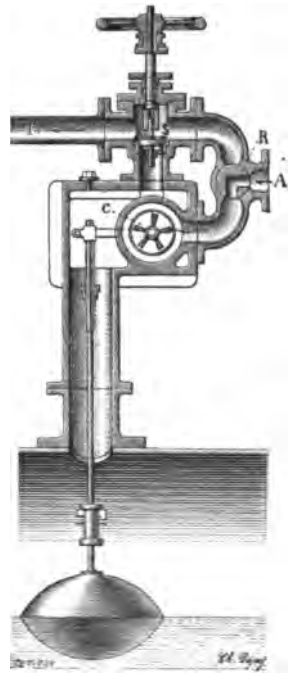


Fig. 482.

Suivant la position du flotteur, c'est-à-dire du niveau de l'eau dans la chaudière, le papillon occupe toutes les positions intermédiaires depuis la fermeture complète jusqu'à l'ouverture en grand. L'eau traverse le diaphragme, se rend dans le tuyau d'alimentation, soulève le clapet S et gagne la chaudière par le tuyau T. Le but du cla-

pet S est de s'opposer à la rentrée accidentelle dans l'appareil des eaux chargées de boue provenant de la chaudière.

En cas d'avarie du mécanisme, le robinet R sert à mettre le tuyau A d'arrivée d'eau en communication directe avec la chaudière. Le pivot du papillon comporte un petit cône formant un joint analogue à celui du flotteur Bourdon, ce qui permet la visite et le nettoyage des pièces mobiles pendant la marche.

827. M. Belleville construit pour sa chaudière multitubulaire un régulateur d'alimentation dont le fonctionnement est très satisfaisant et qui, au besoin, pourrait être appliqué à tout autre générateur.

Cet appareil a été décrit plus haut (n°**729**), nous n'y reviendrons donc pas ici.

APPAREILS DE RETENUE D'ALIMENTATION.

828. Chaque chaudière doit, aux termes du règlement, être munie d'un appareil de retenue, soupape ou clapet, fonctionnant automatiquement et placé au point d'insertion du tuyau d'alimentation qui lui est propre. Cette prescription implique qu'il ne doit y avoir aucun organe entre le clapet et la chaudière. Cependant l'administration tolère l'intercalation d'un robinet permettant la visite du clapet pendant que la chaudière est en pression.

L'adaptation d'un clapet ou soupape de retenue a pour but d'empêcher la vidange accidentelle de la chaudière dans le cas où celle-ci serait mise en communication intempestive avec l'appareil d'alimentation, surtout lorsque ce dernier est constitué par une bouteille alimentaire. Un tel accident est encore à redouter lorsque plusieurs générateurs sont réunis en batterie; l'ouverture simultanée de plusieurs robinets d'alimentation a parfois amené ce résultat, que la chaudière dans laquelle le feu était le plus actif se vidait dans les autres par l'intermédiaire de la conduite commune et se trouvait alors en danger d'explosion.

Lorsque la chaudière est pourvue d'un réchauffeur d'eau d'alimentation, on considère ce dernier comme faisant partie

de la chaudière, et on peut se contenter d'installer un seul clapet à l'entrée du réchauffeur. Il est ordinairement préférable d'en placer un second entre le réchauffeur et la chaudière.

Lorsque le réchauffeur est commun à plusieurs chaudières, il faut un clapet à l'entrée du réchauffeur et un clapet au point d'insertion, sur chacune des chaudières, de la conduite d'alimentation qui fait suite au réchauffeur.

Rappelons encore que tout réchauffeur isolé d'une chaudière par un clapet de retenue doit être pourvu d'appareils de sûreté (**749**).

829. Clapet de retenue d'alimentation. — La figure 483 représente un appareil construit par MM. Müller et Roger et qui se compose essentiellement d'un récipient divisé en deux chambres superposées que sépare une cloison percée d'un orifice muni d'une bague en bronze rodée servant de siège à un clapet. Celui-ci est pourvu d'un axe vertical qui fait corps avec lui et glisse dans deux guides ménagés l'un au-dessous du siège

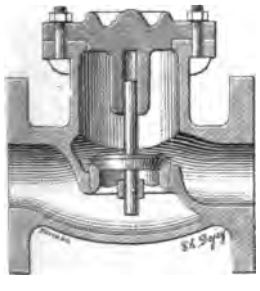


Fig. 483.

Fig. 484.

et l'autre dans le couvercle démontable permettant la visite et le nettoyage du clapet.

La conduite d'arrivée d'eau communique avec la chambre inférieure, et la chaudière avec la chambre supérieure.

Le clapet se soulève pour laisser passer l'eau qui se rend de l'appareil d'alimentation à la chaudière et, en se refermant, il empêche le mouvement inverse.

Les mêmes constructeurs disposent un clapet de retenue (fig. 484) muni d'un robinet ordinaire à boisseau, venu de fonte.

On évite de cette façon le joint entre le clapet et le robinet d'arrêt généralement interposé pour la raison mentionnée plus haut.

M. Dupuch installe parfois au-dessus du clapet une tige traversant un presse-étoupe et que l'on fait mouvoir à volonté dans un écrou fixe. On obtient ainsi un appareil qui permet au besoin de régler la levée du clapet, et par suite de rendre continue l'alimentation de la chaudière.

Lorsque la tige est descendue à fond, le clapet est appliqué sur son siège et ne peut se déplacer. Ce dispositif ne remplace pas le robinet d'arrêt qu'on interpose entre le clapet et la chaudière et qu'il faut nécessairement fermer lorsqu'on veut visiter le clapet pendant la marche; mais ce robinet n'étant plus manœuvré que dans ce cas, l'usure et les chances de fuite sont moins à craindre. L'entretien des appareils se trouve pour ainsi dire réduit à la réfection de la garniture du presse-étoupe de la tige du clapet, opération qui n'est ni coûteuse, ni difficile.

PRISE DE VAPEUR.

830. La prise de vapeur doit se faire en un point aussi éloigné que possible de la surface de l'eau, c'est-à-dire dans le haut du dôme, ou, tout au moins, à la partie supérieure de la chambre de vapeur. Il convient en effet de laisser le plus de distance possible entre la prise et le niveau du liquide afin de diminuer la quantité d'eau entraînée.

On emploie dans le même but certaines dispositions spéciales que nous examinerons plus loin (§ X).

Nous nous bornerons ici à étudier les appareils spéciaux dont une prise de vapeur doit être pourvue.

831. Robinets de prise de vapeur. — Tous les robinets peuvent servir pour une prise de vapeur pourvu qu'ils soient parfaitement étanches et faciles à manœuvrer.

Cependant les robinets à boisseau sont peu employés, surtout lorsqu'il s'agit d'appareils de gros diamètre, car ils donnent fréquemment lieu à des fuites et sont souvent durs à tourner, leur ouverture est trop brusque et la clef elle-même crée un étran-

glement dans la section de passage. D'autres robinets (fig. 485) ont ces inconvénients à un degré moindre, mais présentent un changement brusque de direction occasionnant une perte de charge assez notable. Certains constructeurs ont établi des systèmes de robinets dans lesquels ils ont cherché à éviter ces défauts. Nous allons décrire deux des principaux types employés.

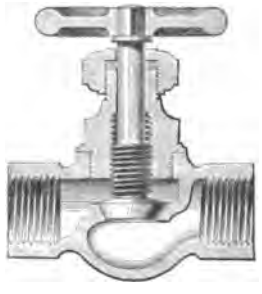


Fig. 485.

832. Robinet Dupuch à passage direct et à tige brisée. — Cet appareil (fig. 486) comporte un cylindre dont un fond est plein et l'autre fermé par un chapeau démontable. Ce cylindre est divisé, par un diaphragme transversal, en deux compartiments dont l'un, pourvu de deux tubulures à brides forme un conduit cylindrique, sans étranglement, destiné au passage de la vapeur.

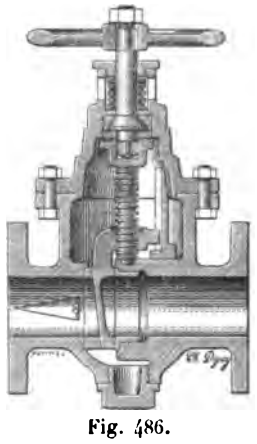


Fig. 486.

Dans ce conduit peut aller et venir, à travers une ouverture ménagée dans le diaphragme, une vanne en forme de coin qui permet de régler le débit de la vapeur. Cette vanne se déplace entre un contre-coin et une bague dressée servant de siège ; quand on la descend à fond, le contre-coin l'applique fortement sur la bague et le robinet se trouve fermé.

La vanne est portée par une tige coudée venue de fonte avec elle et présentant une partie taraudée formant écrou dans laquelle s'engage une vis qu'on peut tourner à l'aide d'un volant. L'écrou est guidé par une glissière verticale qui l'empêche de tourner, de sorte que, suivant le sens de la rotation de la vis, il monte ou il descend en entraînant avec lui la vanne.

Le volant n'est pas directement fixé sur la vis, mais il est monté sur un arbre dont la base, terminée par un prisme carré,

s'engage, sans entrer à fond, dans une cavité de même forme, réservée dans la tête de la vis. Cette disposition, dite à tige brisée, a pour but d'éviter le coïncement qui se produit, sous l'influence d'une élévation de température, dans les robinets ordinaires à vis quand on les ferme sans précautions. Le joint entre l'arbre du volant et le chapeau qu'il traverse est obtenu, sans presse-étoupe, au moyen d'une portée conique rodée, soumise à l'action d'un ressort; la pression de la vapeur tend à consolider ce joint. La partie visible de l'arbre peut actionner un index qui permet de constater extérieurement le degré d'ouverture de la vanne.

833. Robinet système Peet. — Comme le précédent, ce robinet présente deux capacités superposées (fig. 487) dont l'une, celle du bas, est en communication avec la conduite générale et renferme les sièges de la vanne A et dont l'autre, placée à la partie supérieure, sert à loger l'appareil d'obturation pendant le passage de la vapeur.

Fig. 487.

Le mouvement de la vanne est obtenu à l'aide d'un volant monté sur une tige en partie filetée traversant un écrou rattaché à la vanne. Cet écrou monte et descend sur le filetage de la tige et entraîne la vanne A dans son mouvement.

Cette vanne se compose de deux disques plans parallèles entre lesquels est interposé un coin B disposé de telle manière qu'il bute au fond du robinet un peu avant que les disques ne soient à bout de course; son mouvement est alors arrêté tandis que les disques continuant à descendre sont écartés par les plans inclinés de la partie supérieure du coin. Les disques sont guidés par des rainures latérales et disposées de façon qu'il y ait peu de frottement contre les sièges pendant la manœuvre.

SOUPAPES OU CLAPETS DE RETENUE DE VAPEUR.

834. On dispose souvent dans les usines des batteries de générateurs desservant les machines à l'aide d'une conduite

générale à laquelle chaque chaudière est reliée par une tubulure spéciale. Si l'un des générateurs vient à faire explosion, tous les autres se vident, ce qui augmente l'importance du sinistre. C'est pour parer à ce danger que l'administration a exigé que chaque groupe de chaudières d'une certaine importance puisse, en cas d'accident, être séparé automatiquement de la conduite générale par un appareil de retenue de vapeur. Le maximum de la capacité des chaudières formant un groupe à isoler de la sorte est défini par le décret du 29 juin 1886 (1) dont nous donnons plus loin le texte.

En pratique, on place ordinairement une soupape de retenue sur le tuyau de prise de vapeur de chacune des chaudières groupées sur une même canalisation générale et on donne la préférence aux soupapes fermant dans les deux sens. En cas d'accident sur la conduite principale, tous les clapets se ferment sur le siège d'arrière, c'est-à dire dans le sens de l'écoulement de la vapeur et la conduite se trouve immédiatement isolée. Au contraire, lorsque l'accident se produit sur une chaudière, seul le clapet de celle-ci se ferme sur le siège d'avant et coupe la communication avec la canalisation générale restée intacte. Cette dernière continue à être alimentée par toutes les chaudières non endommagées et le travail peut au besoin continuer dans l'usine. Les appareils à un seul siège ne présentent pas cet avantage, car, pour répondre aux prescriptions du décret, ils doivent forcément fermer sur l'arrière et ils isolent ainsi la canalisation générale, lors même que celle-ci n'a pas été endommagée par l'accident.

Tout clapet de retenue de vapeur doit rester ouvert sous l'action des dépressions modérées qui se produisent fréquemment en service courant, par suite de la mise en marche d'une machine, de l'envoi de la vapeur dans le serpentin d'un appareil d'évaporation, etc., mais il doit se fermer dès qu'une dépression quelconque se produit dans la chaudière qu'il est destiné à protéger. Il résulte de là que le clapet doit pouvoir se fermer plus facilement dans un sens que dans l'autre.

(1) Voir § XII, p. 273.

De plus, il faut rechercher des appareils de construction simple et robuste, s'ouvrant d'eux-mêmes dès que la cause qui a produit la fermeture a cessé d'exister.

Ces appareils ne doivent comporter aucune pièce délicate, susceptible de se déranger, et il est utile, non seulement de pouvoir s'assurer à tout instant de leur fonctionnement, mais encore d'avoir une indication permettant de suivre les mouvements du clapet et de pouvoir reconnaître rapidement et sûrement s'il est ouvert ou fermé.

835. Clapet obturateur Labeyrie. — Nous représentons, figure 488, cet appareil qui se compose d'une enveloppe sphérique renfermant un boulet creux. Cette enveloppe est pourvue de deux tubulures munies de brides permettant d'intercaler l'appareil dans la canalisation de vapeur qui doit le recevoir. Le boulet est partiellement engagé dans l'alvéole qui lui sert de support et a un diamètre tel, qu'il peut, en venant s'appliquer à l'entrée de l'une ou de l'autre des tubulures, fermer le passage de la vapeur. Un couvercle boulonné à la partie supérieure de la sphère sert à la visite de l'appareil qui peut, de plus, être muni d'un bouchon, vissé au point le plus bas de son enveloppe et permettant, lorsqu'on veut nettoyer, d'écouler l'eau contenue dans l'alvéole.

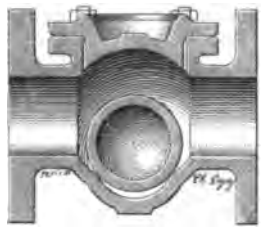


Fig. 488.

En marche courante, la vapeur passe au-dessus du boulet qui repose sur son support. Mais lorsque la vitesse du courant vient à augmenter d'une façon anormale, le boulet est entraîné et vient, dans le sens du mouvement, s'appliquer sur l'orifice de passage qu'il maintient fermé tant que les pressions sont différentes à l'avant et à l'arrière de l'obturateur.

Dans certains de ces appareils, l'alvéole inférieure renferme une hausse mobile qui supporte le boulet; suivant la hauteur à laquelle cette hausse est réglée, l'appareil est plus ou moins sensible. Il faut remarquer que ce clapet ne peut s'établir que sur une conduite horizontale ou peu inclinée et que le mouvement du

boulet n'est signalé par aucune indication visible à l'extérieur.

836. Clapet pendule système P. Carette. — Cet appareil, que l'on a pu voir fonctionner à l'Exposition Universelle de 1889 où il était installé sur les conduites de vapeur alimentées par les différents groupes de chaudières de Naeyer, se compose d'un corps cylindrique renflé en son milieu (fig. 489), et portant une bride à chacune de ses extrémités; la partie renflée renferme l'appareil obturateur composé de deux clapets en forme de tronc de cône laissant entre eux un certain intervalle et montés dos à dos, sur une même tige longitudinale; celle-ci est maintenue dans l'axe du cylindre par deux guides, laissant un certain jeu; chacun d'eux fait partie d'un anneau formant siège de soupape et placé à chaque extrémité de la partie renflée.

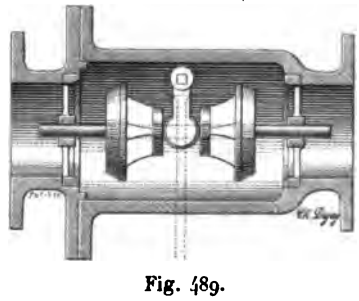


Fig. 489.

Une petite bielle à fourche, dont les deux branches sont terminées par un renflement en forme de disque, vient s'engager dans l'espace qui sépare les deux clapets. Elle est fixée à la partie supérieure de la chambre centrale sur un axe qui se prolonge jusqu'à l'extérieur en traversant un presse-étoupe, et qui porte à son extrémité un bras de levier formant pendule.

Tant que la vitesse de la vapeur n'est pas exagérée, le poids du pendule maintient en place l'appareil obturateur, mais quand, par suite d'une dépression accidentelle en un point quelconque, le courant devient trop rapide, cette résistance est vaincue, la tige longitudinale glisse dans les guides qui la supportent et l'un des clapets vient fermer l'orifice par lequel a lieu l'écoulement; il reste ainsi fixé jusqu'à ce que la pression soit redevenue à peu près la même sur ses deux faces.

Il est évident que la sensibilité de l'appareil dépend dans une certaine mesure du poids du pendule que l'on peut régler suivant les différents besoins; en outre, en faisant varier l'angle

de calage du bras de levier de manière que celui-ci reste vertical pendant la marche normale, on peut installer l'appareil suivant une inclinaison quelconque, sur toute conduite horizontale, inclinée ou verticale. On a soin d'ailleurs de régler la position de la partie mobile de manière qu'en service, et dans l'état d'équilibre, le clapet situé du côté du générateur soit plus rapproché de son siège que l'autre clapet ; il en résulte que l'obturation se produit vers la chaudière pour une dépression inférieure à celle qui entraîne la fermeture du côté de la conduite.

Enfin le pendule, dont le mouvement est visible de l'extérieur, permet de s'assurer en toutes circonstances du fonctionnement régulier de l'obturateur.

L'appareil peut être complété par un sifflet d'alarme, qui prévient de la fermeture de la conduite et reste en fonctionnement tant que la communication n'est pas rétablie.

De plus, on dispose parfois l'appareil de manière que lorsqu'il se ferme par suite d'une prise brusque sur le tuyau distributeur de vapeur, il ouvre un tiroir permettant, par un tuyau spécial débouchant hors de la chaufferie, l'échappement de la vapeur qui continue à se produire dans la chaudière isolée. Cette dernière disposition a pour but d'empêcher la pression de s'élever, d'éviter le soulèvement des soupapes de sûreté et de permettre d'accéder ainsi plus facilement aux vannes de la chaudière pour rétablir le fonctionnement normal.

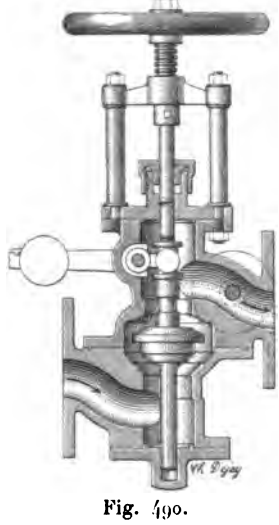


Fig. 490.

837. Robinet Clapet Fryer. — Cet appareil (fig. 490) peut servir à la fois de robinet et de clapet de retenue. L'obturateur est placé dans une chambre cylindrique présentant deux sièges opposés et munie de deux tubulures, l'une inférieure communique avec la chaudière, l'autre supérieure avec la conduite générale. Il comporte un axe vertical et

deux clapets placés dos à dos. Le clapet inférieur est fixé sur l'axe, tandis que le supérieur est mobile.

En marche normale, l'obturateur est maintenu en équilibre à mi-hauteur de la chambre à l'aide d'un petit levier à contrepoids placé à l'extérieur. Le couvercle de l'appareil est traversé par une tige munie d'un volant et dont l'extrémité inférieure est en contact avec l'axe du clapet: cette tige est filetée sur une partie de sa longueur et s'engage dans un trou taraudé ménagé dans une arcade; on voit facilement qu'en agissant sur le volant de manœuvre, dans le sens voulu pour produire la descente, on vient appliquer la soupape sur son siège et qu'on intercepte le passage de la vapeur, l'appareil est ainsi utilisé comme robinet. Le clapet Fryer agit comme les appareils du même genre que nous avons déjà décrits, et comme eux il peut isoler automatiquement soit une conduite générale desservie par une batterie de chaudières, soit l'une des chaudières. Dans le premier cas, le clapet mobile seul se soulève; dans le second, l'obturateur descend. Un orifice spécial fermé par un robinet permet de vérifier à volonté si le clapet mobile peut fonctionner. Cet appareil ne peut être placé que sur une conduite horizontale.

RÉGULATEURS DE PRESSION DE VAPEUR.

838. Il est souvent nécessaire d'établir à l'entrée des canalisations de vapeur des appareils ayant pour but de régulariser la pression dans les conduites et de la rendre indépendante des variations qui peuvent se produire dans le générateur.

Cette précaution est surtout indispensable dans beaucoup de cas, depuis que, par suite de l'emploi de plus en plus fréquent des chaudières à vaporisation rapide, on se trouve conduit à produire de la vapeur à une pression plus élevée qu'il n'est nécessaire et à la détendre pour la fournir à une pression inférieure constante. On se met ainsi, dans une certaine mesure, à l'abri des variations de pression si fréquentes dans les chaudières en question. Les appareils employés dans ce double but portent le nom de régulateurs de pression.

839. Régulateur de pression à membrane et ressort de MM. Geneste et Herscher. — Cet appareil (fig. 491) comprend une chambre intérieure recevant la vapeur en pression, deux soupapes équilibrées fixées sur le même axe et une chambre de détente. La base de celle-ci est fermée par une membrane en cuivre mince sur laquelle s'exerce la pression de la vapeur détendue et dont le bord extérieur est serré dans le joint de fond de l'appareil. La membrane est traversée à joint étanche par l'axe même des soupapes et l'extrémité de ce dernier vient buter contre un ressort à lames, suspendu au-dessous de l'appareil, par deux tiges à étriers, fixées sur le fond du corps cylindrique principal. Le mouvement de la membrane est limité par deux disques pourvus d'une série de rainures rayonnantes. Celles-ci ont pour but d'empêcher que la membrane en cuivre ne se colle sur les disques par l'effet de la pression.

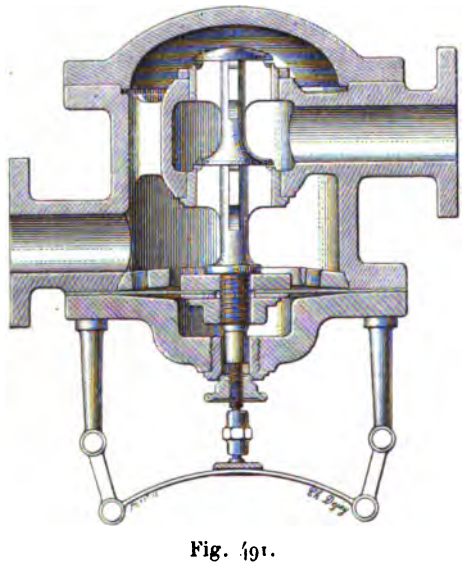


Fig. 491.

Pour la facilité du réglage, l'extrémité de la tige des soupapes qui s'appuie sur le ressort, est composée de deux pièces raccordées par un écrou à double taraudage, l'un droit et l'autre gauche, afin de permettre d'allonger ou de raccourcir la tige en tournant l'écrou dans un sens ou dans l'autre. On peut ainsi faire varier à volonté la tension du ressort et par suite la pression de la vapeur détendue.

840. Régulateur Legat. — Le fonctionnement de cet appareil présente une grande analogie avec celui du précédent; la vapeur à détendre arrive dans une capacité centrale fermée par

deux clapets solidaires formant soupape équilibrée ; la tige qui les supporte est reliée à une membrane flexible disposée en soufflet, et que deux ressorts maintiennent soulevée par l'intermédiaire d'un palonnier.

Lorsque la pression intérieure augmente, elle agit sur la membrane, les ressorts cèdent, les clapets se rapprochent de leurs sièges et réduisent le débit de la vapeur de manière que la tension conserve la valeur pour laquelle l'appareil a été réglé.

Un volant placé à la partie supérieure, et formant écrou, permet de faire varier la puissance des ressorts en soulevant ou en abaissant la barre transversale à laquelle ils sont suspendus.

841. Régulateur détendeur Belleville. — Cet appareil, représenté figure 492, comprend une chambre à l'intérieur de laquelle débouche le tuyau d'arrivée de vapeur dont l'ouverture peut être fermée par un tiroir cylindrique équilibré. Celui-ci est relié à un piston plongeur placé à la partie supérieure de la chambre et sur lequel agit un levier, soumis à l'action d'un contrepoids et d'un ressort à boudin qui, pour une certaine pression déterminée, font équilibre à l'action de la vapeur détendue agissant sous le piston plongeur. On règle à volonté cette pression en faisant varier le nombre des rondelles du contrepoids. Un robinet placé sur l'appareil sert à établir la communication avec un manomètre qui indique la pression de la vapeur détendue. Le fonctionnement a lieu comme suit : quand la pression à la sortie du

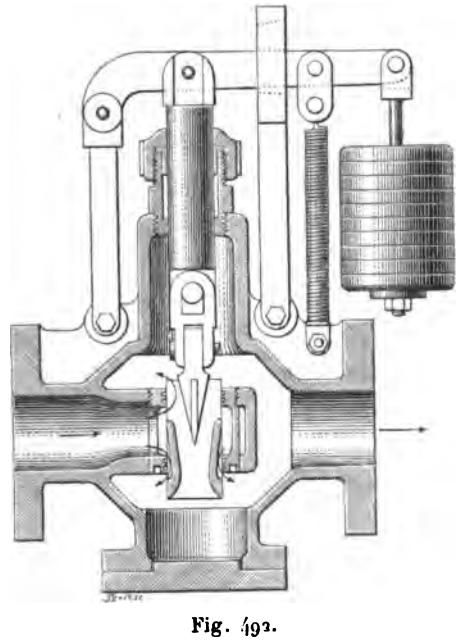


Fig. 492.

détenteur dépasse la limite pour laquelle l'appareil est réglé, le piston plongeur se soulève et le tiroir équilibré vient obstruer les orifices d'entrée de la vapeur venant du générateur suffisamment pour que l'équilibre se rétablisse.

Quand, au contraire, la pression tend à diminuer, le piston s'abaisse et le tiroir laisse écouler plus de vapeur.

§ X

EAU ENTRAINÉE PAR LA VAPEUR.

PRIMAGE.

842. Lorsque, dans une chaudière, l'eau est en vive ébullition, la vapeur qui se dégage de la masse entraîne toujours avec elle une certaine quantité de liquide qu'elle emporte dans les tuyaux et les appareils. C'est ce qu'on appelle le *primage*.

La proportion d'eau ainsi entraînée mécaniquement est très variable et dépend des dispositions mêmes de la chaudière et de diverses circonstances, telles que l'activité de l'ébullition, la nature des eaux, la surface d'évaporation, la distance de la prise de vapeur au niveau de l'eau, etc. En pratique, l'eau entraînée donne lieu à des inconvénients. Elle renferme de la chaleur qui est le plus souvent perdue ; elle augmente la densité de la vapeur et diminue la vitesse de circulation dans les conduites, et quand elle est en très grande quantité, elle peut, surtout à la mise en marche, produire des coups d'eau dans les cylindres à vapeur et occasionner leur rupture.

843. La prise intermittente de vapeur pour l'alimentation des machines à grande détente favorise l'entraînement d'eau. A chaque admission, il y a variation brusque de pression dans la chambre de vapeur et il se produit un bouillonnement qui fait monter et descendre le niveau de l'eau dans la chaudière.

La dépression produite au droit du tuyau de prise détermine quelquefois une dénivellation très marquée du liquide, ce qui peut avoir des inconvénients graves surtout dans les chaudières à

foyer intérieur (fig. 383 et suivantes), où certaines parties, telles que le ciel du foyer, exposées au rayonnement du feu, peuvent se trouver à découvert. Cette dénivellation se constate au moyen des indicateurs; un niveau d'eau placé à l'avant de la chaudière et un flotteur installé à l'arrière, accusent quelquefois des différences notables. On peut la reconnaître encore en manœuvrant le robinet de prise de vapeur; dès qu'on ferme cet organe, on voit souvent le niveau de l'eau changer brusquement dans la chaudière.

Cela s'observe surtout dans les chaudières à vaporisation rapide dont les éléments contiennent presque toujours un fluide mixte composé d'eau et de vapeur. Le niveau d'eau, branché d'une part sur le distributeur d'alimentation et d'autre part sur le collecteur de vapeur, donne alors des indications qui ne renseignent qu'imparfaitement sur le niveau de l'eau contenue dans les éléments. Un amas de plaquettes, formé de fragments détachés des dépôts incrustants, peut suffire pour empêcher l'eau d'entrer en quantité suffisante dans les tubes du faisceau vaporisateur, qui sont alors exposés à rougir et à se fendre. Ceux-ci ont parfois été brûlés, alors que, dans l'indicateur à tube de verre, l'eau atteignait le niveau normal.

PROCÉDÉS EMPLOYÉS POUR DIMINUER LE PRIMAGE.

844. Pour diminuer la quantité d'eau entraînée, il convient d'éloigner autant que possible la tubulure de prise de vapeur de la surface libre du liquide; c'est dans ce but qu'on dispose généralement au-dessus de la chaudière un réservoir de vapeur surmonté d'un dôme de $0^m,80$ à 1 mètre de hauteur, vers le sommet duquel se place la prise de vapeur. Cette disposition se rencontre dans la plupart des systèmes de chaudières à vaporisation rapide et dans certaines chaudières tubulaires sur lesquelles on établit même parfois deux réservoirs superposés. Une bonne pratique consiste à faire pénétrer de $0^m,10$ environ dans le réservoir le tuyau de prise, afin d'éviter que l'eau projetée ou condensée contre les parois ne pénètre dans l'ouverture de ce tuyau.

845. Un moyen souvent employé pour diminuer le soulèvement de l'eau, consiste à prendre la vapeur sur toute la longueur de la chaudière au moyen d'un tuyau horizontal placé dans le haut de la chambre de vapeur, et percé sur son arête supérieure de petits trous qu'on peut remplacer par des traits de scie (fig. 467). La prise se produisant ainsi à peu près uniformément sur toute l'étendue de la surface de vaporisation, le soulèvement de l'eau se trouve très atténué ; l'ébullition, moins localisée, est moins tumultueuse, et par suite la proportion d'eau entraînée est beaucoup diminuée. Nous avons déjà signalé (**693**) l'importance, à ce point de vue, d'une grande surface d'évaporation, et l'infériorité sous ce rapport des chaudières verticales.

846. Pour arrêter l'eau entraînée et la séparer de la vapeur, Péclet indique l'emploi de l'appareil suivant (fig. 493 et 494).

Fig. 493.

Fig. 494.

C'est un récipient cylindrique fermé, placé à côté de la chaudière ou dans la chaudière même, et dans lequel on maintient de l'eau à un certain niveau ; la vapeur arrive par le haut du cylindre et se projette vers la surface de l'eau ; elle s'échappe ensuite par un autre tuyau raccordé sur le couvercle du récipient, et se trouve ainsi obligée de changer brusquement de direction. Dans ce renversement du courant, on conçoit que l'eau, plus dense que la vapeur et animée par conséquent d'une plus grande

puissance vive, continue son mouvement descendant et vienne se mélanger à celle qui est au bas de l'appareil, tandis que la vapeur plus légère se sépare de l'eau entraînée.

Pour que cet appareil puisse fonctionner d'une manière efficace, il faut qu'entre le point d'arrivée de la vapeur et le niveau de l'eau il y ait une distance suffisante. Si cette dernière était trop faible, le courant de vapeur pénétrerait dans la masse d'eau, et il se produirait une sorte de barbotage qui augmenterait la proportion d'eau entraînée au lieu de la diminuer.

847. M. Vinçotte, ingénieur en chef de l'association belge pour la surveillance des chaudières à vapeur, a fait construire un appareil dans lequel la séparation de l'eau entraînée s'effectue par l'action de la force centrifuge. Ce séparateur, représenté figure 495, est formé d'un récipient cylindrique pourvu d'un tuyau central, autour duquel est disposée une surface hélicoïdale.

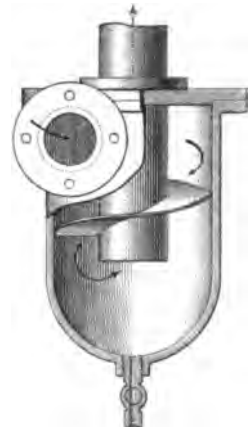


Fig. 495.

La vapeur chargée d'eau arrive par le haut du récipient, tourne en descendant dans l'appareil et s'échappe en remontant par le tuyau central. Par suite de ce mouvement de rotation, l'eau est projetée contre la paroi intérieure du cylindre et se réunit au fond de celui-ci après avoir dans certains appareils traversé une toile métallique. L'eau séparée peut, selon les cas, rentrer directement dans la chaudière ou être extraite par un purgeur automatique.

Primitivement l'appareil séparateur comportait trois spires, mais M. Vinçotte a reconnu qu'une seule suffit. On coule d'une seule pièce le tube central, l'hélice et son cylindre-enveloppe, car il est essentiel qu'il n'existe pas de fuites le long de la paroi intérieure de ce dernier.

848. M. de Naeyer installe parfois à l'intérieur du dôme de vapeur de ses chaudières un séparateur d'eau et de vapeur réprésenté figure 496. Cet appareil se compose de deux enton-

noirs concentriques dont la pointe plonge dans une petite capsule contenant de l'eau. Ces entonnoirs pénètrent dans des cloches également concentriques, de l'axe desquelles part le tuyau de prise de vapeur, aboutissant à la valve de distribution.

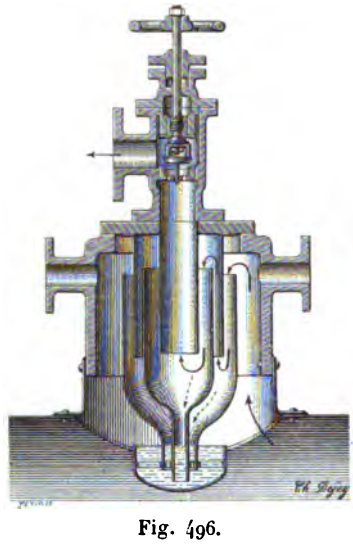


Fig. 496.

Lorsqu'on ouvre cette valve, la vapeur et l'eau suivent le chemin sinueux indiqué par les flèches, l'eau est projetée dans le réservoir inférieur et retombe dans la chaudière ; la vapeur épurée sort par le tube central pour être utilisée.

849. Appareil Ehlers. — Cet appareil est composé alternativement d'entonnoirs ou troncs de cône et de cônes placés à la suite les uns des autres dans un même cylindre (fig. 497). La vapeur arrive dans le sens de la flèche et vient frapper sur le premier cône. Les veines fluides divergent et se retournent ensuite pour passer entre l'entonnoir et l'intérieur du cône ; elles pénètrent dans le second entonnoir et ainsi de suite.

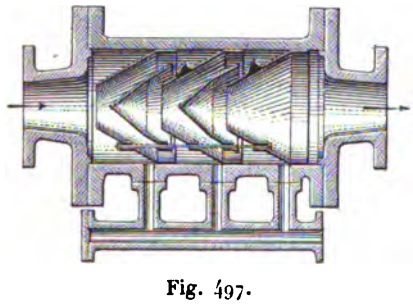


Fig. 497.

Les changements brusques de direction dans le mouvement des fluides font que l'eau se dépose à l'intérieur des entonnoirs. Des gouttières circulaires la retiennent et l'amènent au bas de l'enveloppe du séparateur. Un tuyau collecteur à trois branches recueille l'eau séparée et l'envoie soit dans la chaudière, soit dans un purgeur automatique.

Ce séparateur peut être placé soit horizontalement, soit verti-

calement. Dans ce dernier cas, le courant de vapeur doit être dirigé en sens inverse des flèches de la figure 497, sinon l'eau s'accumulant dans les cônes, il se produirait un barbotage.

850. On a cherché aussi à diminuer la quantité d'eau entraînée en la vaporisant après sa sortie du réservoir de vapeur. Dans beaucoup de chaudières on établit dans ce but des sécheurs de vapeur composés de tuyaux disposés en serpentins et formant le ciel du fourneau. Les gaz chauds viennent passer au contact des tubes et tendent à vaporiser l'eau tenue en suspension dans la vapeur. Ce moyen ne donne pas toujours le résultat recherché, car les irrégularités qui se produisent dans la marche du foyer peuvent rendre les sécheurs inefficaces.

Certains constructeurs n'ont pas craint de relever le blocage des carneaux de fumée au-dessus du niveau de l'eau, afin de surchauffer la chambre de vapeur et de vaporiser ainsi tout ou partie de l'eau entraînée. Ce moyen est dangereux et absolument contraire aux prescriptions des décrets sur les chaudières à vapeur; en l'employant on s'expose à des poursuites correctionnelles. Nous verrons plus loin qu'on explique certaines explosions de chaudières par le surchauffement de la chambre de vapeur.

On peut produire le surchauffement sans danger en faisant passer le tuyau de vapeur dans les carneaux de fumée, mais la visite et l'entretien de ce tuyau étant, dans ces conditions, à peu près impossibles, on a rarement recours à ce procédé.

En somme, pour diminuer la quantité d'eau entraînée mécaniquement, il faut éloigner autant que possible du niveau de l'eau, l'ouverture du tuyau de prise de vapeur, augmenter la surface d'évaporation ainsi que le volume de la chambre de vapeur, et répartir la prise sur toute la longueur de celle-ci. Il faut éviter l'emploi de certaines eaux, qui ont une tendance à mousser et à se soulever en produisant des émulsions. Enfin, il est surtout important de ne pas surmener les chaudières, c'est-à-dire de ne pas exiger d'elles une production de vapeur trop supérieure à celle qu'elles peuvent normalement fournir.

MESURE DE L'EAU ENTRAINÉE MÉCANIQUEMENT.

La mesure de la quantité d'eau entraînée mécaniquement par la vapeur présente certaines difficultés. Il est cependant fort utile de connaître cette quantité dans les essais de vaporisation des chaudières ou de rendement des machines à vapeur, afin de ne pas compter comme eau vaporisée celle qui est seulement entraînée et de ne pas commettre de ce chef une importante erreur.

851. M. Hirn s'est servi du procédé suivant pour déterminer la quantité d'eau entraînée. Dans un réservoir jaugé et renfermant un certain volume d'eau, il faisait arriver pendant quelque temps au milieu de la masse liquide et, par un tuyau percé de petits trous, la vapeur de la chaudière pour laquelle il voulait évaluer l'importance du primage; il prenait les poids et les températures du liquide du réservoir avant et après l'expérience. Ces éléments suffisent pour calculer la proportion d'eau entraînée.

Soit en effet

P le poids d'eau contenu dans le réservoir avant l'expérience;

$P+p$ le poids final de liquide ;

T la température de la vapeur (T se déduit facilement de la pression);

t_0 et t les températures de l'eau dans le réservoir avant et après l'expérience;

p sera le poids du mélange de vapeur et d'eau entraînée;

Désignons par x le poids d'eau entraînée, $p-x$ sera le poids de vapeur écoulée;

En prenant toutes les précautions contre le refroidissement, on a la relation

$$P(t-t_0)=x(T-t)+(p-x)(606,5+0,305T-t);$$

d'où

$$x=\frac{p(606,5+0,305T-t)-P(t-t_0)}{606,5-0,695T}.$$

Pour opérer avec plus d'exactitude, il faut tenir compte de l'échauffement du réservoir, ce qui d'ailleurs ne présente pas de sérieuses difficultés.

M. Hirn, grâce à son habileté comme expérimentateur, a pu obtenir par ce procédé des résultats satisfaisants.

Si, au point de vue théorique, ce procédé est irréprochable, il faut reconnaître qu'en pratique il est très délicat et que des erreurs graves sont faciles à commettre. De plus on n'est jamais sûr d'opérer sur un échantillon ayant la composition moyenne du mélange à analyser.

Il est donc indispensable, lorsqu'on veut employer ce moyen, de condenser toute la vapeur produite par le générateur pendant la durée de l'expérience, et pour cela on se sert d'un condenseur à surface disposé de manière à former un calorimètre. C'est ce qui a été fait en 1871, dans un concours de chaudières à vapeur, dirigé par M. Thurston, ingénieur américain.

852. Pour déterminer la quantité d'eau entraînée, M. Vinçotte, qui a beaucoup étudié cette question et fait de nombreux essais, préfère recourir à la méthode chimique, basée sur les essais comparés de l'eau recueillie au condenseur et du liquide de la chaudière.

Théoriquement, si l'eau d'une chaudière ne contient pas de substances volatiles, la vapeur qu'elle produit doit donner par condensation de l'eau chimiquement pure et par suite, en comparant la composition de l'eau condensée à celle de l'eau de la chaudière, on aura la proportion d'eau entraînée.

En désignant par R le résidu provenant de 1 kilogr. d'eau de la chaudière et par r le résidu de 1 kilogr. du mélange de vapeur condensée et d'eau entraînée, le poids x d'eau entraînée par kilogr. de mélange sera

$$x=\frac{r}{R}.$$

Si nous supposons que l'eau d'une chaudière renferme 100 parties d'une substance fixe quelconque et que la vapeur condensée en contienne 2 parties, c'est qu'il y a eu 0,02 d'eau entraînée.

Lorsqu'on opère sur de l'eau ordinaire R et surtout r sont très faibles et souvent ne représentent que quelques milligrammes, un dosage exact serait imposssible tant sont grandes les chances d'erreurs dans une analyse qui porte sur des quantités aussi

minimes. Pour obvier à cet inconvénient, on ajoute dans la chaudière une quantité déterminée de sels très solubles, tels que le sel marin ou le sulfate de soude.

En introduisant le premier sel dans une chaudière et le second dans une autre, on pourrait même essayer simultanément deux chaudières qui envoient leur vapeur dans une même conduite. La teneur en chlore des eaux condensées donnerait l'entraînement pour l'une des chaudières et la teneur en acide sulfurique fournirait la même indication pour l'autre.

Si la chaudière sur laquelle on opère contient des substances volatiles, il faudra en tenir compte d'après leur nature. La substance volatile qui gêne le plus, c'est l'acide carbonique qu'on trouve toujours dans l'eau, lorsqu'elle est condensée dans un récipient n'offrant pas d'issue à ce gaz. Celui-ci provient de l'acide libre contenu dans l'eau, de la décomposition des bicarbonates et probablement de la décomposition du carbonate de magnésie.

En fait, on constate que toutes les eaux provenant de la condensation complète d'un certain poids de vapeur sont acides lorsqu'elles ne renferment pas d'eau entraînée. Cette acidité est due à l'acide carbonique, et, s'il y a de la boue calcaire entraînée, une partie de cette boue peut se trouver redissoute dans l'eau chargée d'acide carbonique et le bicarbonate de chaux formé vient alors augmenter le poids de la vapeur condensée.

L'eau des chaudières est le plus souvent calcaire et lorsqu'elle est entraînée en proportions notables elle communique son alcalinité à l'eau recueillie.

Divers auteurs ont signalé la présence d'acide chlorhydrique libre dans la vapeur; M. Vinçotte n'en a jamais rencontré et croit, du reste, qu'en général, l'acide mis en liberté par la décomposition du chlorure de magnésium est immédiatement absorbé par les boues calcaires contenues dans l'eau.

853. L'analyse hydrotimétrique permet de doser les sels terreux contenus dans l'eau. Elle donne des résultats satisfaisants lorsqu'on l'applique aux eaux des chaudières, mais il n'en est plus de même quand on traite des vapeurs condensées; l'opération devient alors très difficile.

Cela résulte de ce que l'acide carbonique, existant presque toujours à l'état libre dans les eaux condensées, agit sur la liqueur de savon. Il faut le chasser par l'ébullition avant de prendre le degré hydrotimétrique.

De plus, il faut de grandes précautions pour se mettre à l'abri d'une décomposition singulière que les eaux à faible degré font subir à la liqueur.

Prenons, par exemple, une eau qui titre un quart de degré. En y ajoutant en une fois la quantité de dissolution de savon suffisante pour obtenir la production de la mousse, celle-ci persiste quelquefois toute une journée. Mais, si dans la même eau on ajoute une quantité trop faible de liqueur de savon, la mousse ne se produit pas et, à la condition de n'ajouter ensuite qu'une petite quantité de dissolution à la fois et d'attendre quelque temps après chaque addition, on peut introduire jusqu'à 50 degrés de liqueur sans obtenir de mousse. L'eau devient opaline, visqueuse et finit par former de grosses bulles, mais jamais elle ne donne la vraie mousse hydrotimétrique.

Au contraire, si après un arrêt quelconque on ajoute un peu trop de dissolution, la mousse se produit et persiste.

Il faut donc procéder à reculons, commencer par mettre trop de liqueur et continuer sur de nouvelles prises d'essai, dans lesquelles on verse une dose de liqueur chaque fois un peu moindre.

Il résulte de ce qui précède que la mousse de savon se produisant d'une manière assez irrégulière dans les eaux presque pures, la méthode hydrotimétrique ne doit pas être employée dans les essais d'eau entraînée. Cependant on a quelquefois recours à ce procédé en raison de ce qu'il est généralement applicable sans préparatifs.

854. L'essai chlorométrique se fait en colorant l'eau à essayer en jaune serin, au moyen de quelques gouttes de chromate de potasse et en y versant une solution titrée d'azotate d'argent, dont 1 degré correspond à $0^{gr},00887$ de chlore. Tant qu'il y a du chlore dans l'eau l'azotate y forme un précipité blanc et la teinte jaune serin persiste. Au contraire, aussitôt que tout le chlore est précipité, il se forme du chromate d'ar-

gent rouge brique dont la moindre quantité suffit pour altérer la nuance initiale.

Pour essayer une eau très pure, M. Vinçotte opère sur deux ballons d'un litre chacun, teintés de la même façon en jaune et dont l'un ne sert que comme point de comparaison. De cette manière, les changements de nuances s'accusent nettement et l'on peut déceler un quart de milligramme de chlore dans un litre d'eau. Cependant le dosage exact d'aussi petites quantités présente des difficultés. Si en effet l'on prend le titre d'une eau au moment où elle sort du condenseur et après l'avoir préalablement refroidie, elle marque toujours quelques milligrammes de plus par litre qu'après avoir séjourné quelque temps à l'air ambiant. L'acide carbonique est en partie cause de cet effet, mais il y a encore d'autres influences indéterminées ; par conséquent, lorsque les eaux sont très pures, il est difficile de reconnaître, s'il y a ou non, quelques traces d'eau entraînée, bien que la méthode chlorométrique appliquée à l'eau ordinaire permette de reconnaître avec certitude 0,001 d'eau entraînée.

Dans plus de cent essais, faits dans ces dernières années sur des chaudières de sucrerie, auxquelles on demande une production de vapeur généralement exagérée, M. Vinçotte n'a trouvé que très peu de cas où l'entraînement d'eau fût certain et dépassât 1 p. 100.

855. M. F. Brocq a imaginé pour la mesure de l'eau entraînée mécaniquement un appareil très ingénieux.

Cet appareil est fondé sur ce principe qu'une vapeur en contact avec son liquide générateur a, pour une température fixe, une pression déterminée dont la valeur est absolument indépendante des variations qu'on peut faire subir au volume occupé par le mélange de vapeur et de liquide, tandis qu'une vapeur sèche donne une dépression pour toute augmentation de volume.

L'appareil (fig. 498) se compose d'une première caisse A renfermant une boîte prismatique en bronze B, dans laquelle se meut au moyen d'une vis et d'un volant-manivelle un piston P. La boîte B est munie de deux orifices T et T' que l'on peut ouvrir ou fermer simultanément au moyen de deux tiroirs manœuvrés par une même manette.

Sur le dessus de cette boîte B est une ouverture fermée par une membrane flexible en maillechort plissée circulairement qui permet d'accuser à l'extérieur les variations de pression dans la chambre B. A cet effet une vis à pas très court qu'on manœuvre de l'extérieur par un bouton moleté en bois et qui est isolée au

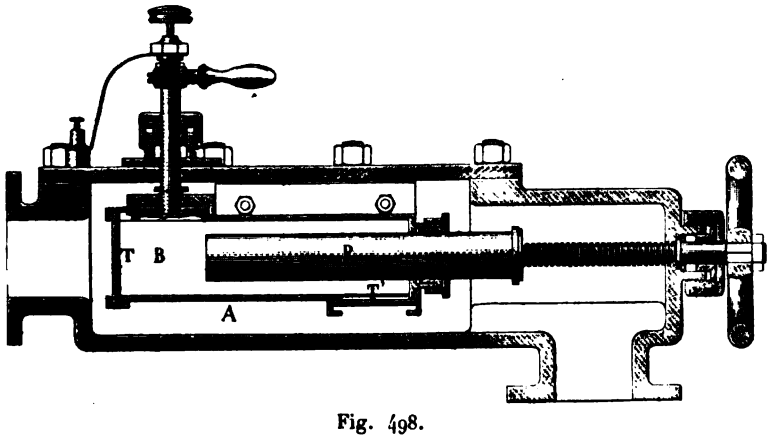


Fig. 498.

moyen d'un tube de verre peut venir appuyer son extrémité sur la membrane. La vis communique avec l'un des pôles d'un élément de pile et la membrane avec l'autre pôle ; dans le circuit est interposée une sonnerie.

Voici comment fonctionne l'appareil. On ouvre les deux tiroirs du prisme B et la vapeur circule à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de ce dernier. L'équilibre de température étant établi, on ferme simultanément les tiroirs et on isole ainsi dans la boîte un volume connu du mélange. Cela fait, on amène la pointe de la vis à toucher légèrement la membrane, la sonnerie se met en marche. On agit alors sur le volant-manivelle pour tirer le piston P. La capacité libre de la boîte B augmente et, si la température ne varie pas, c'est-à-dire si la vapeur venant de la chaudière conserve la même pression et circule toujours autour de la boîte, la pression reste également constante dans la boîte tant que celle-ci renferme de l'eau. Mais aussitôt que toute l'eau est vaporisée, le moindre accroissement de volume dans la boîte B est accompagné d'une dépression, la membrane

fléchit, le contact avec la vis cesse et la sonnerie s'arrête.

Le volume du piston et le pas de la vis qui le tire sont réglés de telle sorte que, pour chaque tour, l'augmentation de volume dans la boîte B est de 1 centième du volume initial ; par conséquent le nombre de tours faits par la vis, au moment où la sonnerie s'arrête, indique en centièmes la proportion d'eau entraînée que contient le mélange.

Pour que cet appareil fonctionne régulièrement, il faut que, pendant la durée de l'expérience, la pression de la vapeur qui circule autour de la boîte B conserve une valeur absolument constante ; le moindre excès fait fléchir la membrane plissée et peut arrêter la sonnerie avant que toute l'eau entraînée contenue dans la boîte B n'ait été vaporisée.

L'objection faite à la méthode de M. Hirn se représente ici. On n'est jamais bien certain d'opérer sur un échantillon présentant la composition moyenne. Cependant, en raison de sa facilité d'application, ce procédé peut rendre des services.

En résumé, la détermination de la quantité d'eau entraînée est une opération difficile et délicate lorsqu'il s'agit de quantités minimes. Mais, dans ce cas, le dosage exact présente rarement de l'importance en pratique. Lorsque les entraînements sont considérables, la détermination devient plus facile et l'application des méthodes précédentes permettra de faire des constatations suffisamment précises.

§ XI

INCRUSTATIONS.

MATIÈRES EN DISSOLUTION ET EN SUSPENSION DANS L'EAU.

856. L'eau ordinaire de source, de rivière ou de puits renferme toujours en dissolution une certaine quantité de sels dont la proportion et la nature sont très variables suivant les terrains que le liquide a traversés. Ces sels, sous l'action de la chaleur et de la concentration produite par la vaporisation, se précipitent

dans les chaudières et forment contre les parois des dépôts ou incrustations qui constituent un embarras sérieux pour la bonne marche des générateurs et souvent même un danger.

Parmi ces sels, se trouvent presque toujours du carbonate et du sulfate de chaux, qui forment la plus grande partie du résidu de l'évaporation.

Les autres sels sont des sulfates de soude et de magnésie, du carbonate de magnésie, des chlorures de calcium, de magnésium et de sodium, des azotates alcalins et des traces de sels de potasse. On y constate aussi la présence de la silice, de l'alumine, de l'oxyde de fer et de matières organiques, surtout dans les eaux des rivières traversant les villes.

Les proportions de ces diverses substances sont excessivement variables suivant les pays, la nature des terrains, et comme ces proportions ont la plus grande importance au point de vue des incrustations et du fonctionnement régulier des chaudières, il est indispensable, lorsqu'on veut établir des générateurs de vapeur, de s'assurer, par des analyses et des essais, de la qualité des eaux dont on dispose pour l'alimentation. On pourrait citer des industries qui ont échoué dans certains pays pour avoir négligé cette précaution.

Voici les résultats de quelques analyses sur les eaux qui se consomment à Paris. Tous sont rapportés à un volume de 1000 litres d'eau.

	RÉSIDU TOTAL.	CARBONATE DE CHAUX.	SULFATE DE CHAUX.	DIVERS.	DEGRÉ A L'HYDROTIMÈTRE.
	k				
Eau de Belleville....	1,650	0,260	1,140	0,250	128°
— d'Arcueil.....	0,470	0,170	0,170	0,130	28
— d'Ourcq.....	0,250	0,200	0,020	0,030	30
— de Seine.....	0,170	0,120	0,030	0,020	18

L'épaisseur des incrustations ou des dépôts peut devenir rapidement assez forte avec certaines eaux chargées de sel. Ainsi avec de l'eau de Belleville, 1 mètre carré de chaudière à vapeur

vaporisant en moyenne 15 kilogr. par heure produira, en un mois de travail continu, un résidu de

$$0{,}015 \times 1{,}65 \times 24 \times 30 = 17^{k},80$$

qui, réparti uniformément, constituera une couche d'une épaisseur de

$$e = \frac{17^{k}.80}{1^{mq} \times 2\,000} = 0{,}0089$$

2 000 kilogr. étant le poids d'un mètre cube de dépôt. C'est donc une épaisseur de près de 9 millimètres par mois.

Avec de l'eau de la Seine ce dépôt serait environ 10 fois plus faible et n'atteindrait pas 0,001 s'il était régulièrement réparti sur la surface ; mais il n'en est jamais ainsi, les incrustations se produisent au contraire d'une manière très irrégulière et peuvent, même avec de l'eau relativement pure, acquérir rapidement sur certains points une épaisseur dangereuse.

857. Le carbonate de chaux et le sulfate de chaux constituent la presque totalité des dépôts dans les chaudières à vapeur ; nous allons en conséquence étudier avec quelque détail les conditions de leur solubilité et les circonstances de leur précipitation.

Le carbonate de chaux est à peine soluble dans l'eau. A froid l'eau en dissout, d'après Buchez, de $\frac{1}{16\,000}$ à $\frac{1}{24\,000}$; d'après Boudet seulement $\frac{3}{100\,000}$. Cette solubilité diminue avec la température et devient presque nulle vers 150°.

Quand l'eau contient de l'acide carbonique, la solubilité du carbonate de chaux est plus grande. C'est ainsi que l'eau renfermant de l'acide carbonique peut contenir $\frac{3}{10\,000}$ de carbonate de chaux, dix fois plus que le maximum indiqué par Boudet. Sous l'action de la chaleur, l'acide carbonique se dégage et le carbonate se précipite, de sorte que l'élévation de température suffit, sans la concentration, pour produire la précipitation.

Le sulfate de chaux est très peu soluble dans l'eau. D'après Regnault, la solubilité est

à 0°	de 0,00205	
12°	0,00233	
35°	0,00254	maximum
100°	0,00217	

Selon M. Cousté, elle deviendrait nulle entre 140 et 150°. Il suffirait par conséquent de chauffer l'eau à cette température sans la vaporiser pour amener la précipitation.

Dans l'eau de mer la solubilité est plus grande. M. Cousté donne les chiffres suivants :

103°,00.....	0,00500	121°,20.....	0,00183
105,15.....	0,00432	127,00.....	0,00097
111,00.....	0,00355	130,00.....	0,00060
115,80.....	0,00267	133,30.....	0,00023

Entre 140 et 150° on peut considérer le sulfate comme insoluble dans l'eau de mer ainsi que dans l'eau douce.

L'eau servant à l'alimentation des chaudières marines a une composition quelque peu variable suivant les mers.

Voici le résultat des analyses de Faraday, pour 1000 parties :

Sulfate de chaux.....	1,014
Chlorure de sodium.....	25,785
Sulfate de magnésie.....	2,214
Chlorure de magnésium.....	3,285

Il résulte de l'analyse que l'eau de mer contenant environ 0,001 de sulfate de chaux, et la solubilité à 120° étant environ 0,002, le sulfate commence à se précipiter à cette température lorsque la concentration a réduit le volume de moitié. C'est sur cette observation qu'est basé le procédé dit *des extractions*, qui est souvent employé pour les chaudières marines afin d'empêcher les incrustations, et dont nous parlerons plus loin (882).

Le chlorure de sodium est beaucoup plus soluble ; sa précipitation ne commence que lorsque l'eau en contient 0,350, c'est-à-dire lorsque la vaporisation a réduit le volume à $\frac{0,025}{0,350} = \frac{1}{14}$. Le dépôt se produit donc bien après celui du sulfate de chaux.

Les autres sels de l'eau de mer sont très solubles et restent en dissolution.

Il résulte de ces propriétés des divers sels contenus dans l'eau de mer que les dépôts qu'on recueille dans les chaudières marines sont à peu près exclusivement formés de sulfate de chaux.

M. Cousté a trouvé la composition suivante :

Sulfate de chaux.	0,81 à 0,85
Carbonate de magnésie.	0,06 0,10
Fer, alumine, eau.	traces

Les incrustations des chaudières marines ne renferment donc ni carbonate de chaux ni chlorure de sodium.

D'après d'autres analyses, la proportion de sulfate de chaux aurait dépassé 0,95.

858. Dans une chaudière alimentée à l'eau douce, lorsqu'on commence à chauffer, le carbonate de chaux se précipite le premier. C'est ce que l'on constate dans les chaudières à réchauffeurs. Le corps inférieur qui reçoit l'eau d'alimentation renferme des dépôts peu abondants et formés exclusivement de carbonates ; le sulfate de chaux ne se précipite que dans les réchauffeurs suivants et quelquefois seulement dans le corps cylindrique principal. Les autres matières organiques ou inorganiques qui se trouvent en dissolution dans les eaux sont en général très solubles et ne donnent pas de dépôts.

859. Les eaux tiennent parfois en suspension des matières argileuses ou sablonneuses qui se déposent pendant le repos du liquide et s'interposent plus ou moins dans les sels précipités. Ces matières, par leur interposition même, ont assez souvent pour effet d'empêcher l'adhérence et la cristallisation en masse des sels primitivement dissous, et par conséquent de rendre bien plus facile l'enlèvement des dépôts, ce qui est un avantage.

PROCÉDÉS EMPLOYÉS POUR COMBATTRE LES INCRUSTATIONS.

860. On a essayé dans les chaudières à vapeur bien des procédés pour empêcher les dépôts de se produire ou du moins de

se précipiter à l'état d'incrustations adhérentes, beaucoup plus difficiles à enlever que les boues dont on se débarrasse par de simples lavages.

Les procédés sont de trois espèces :

Les premiers consistent à n'employer que de l'eau naturellement pure ou purifiée artificiellement ;

Les procédés de la deuxième espèce ont pour but d'empêcher l'adhérence des dépôts et leur solidification en masse ;

Enfin les derniers ont pour effet de localiser les dépôts en des points où leur présence n'a que peu d'inconvénients et d'où on peut les extraire sans difficulté.

Il est évident que toutes les fois que cela sera possible, il conviendra de donner la préférence aux procédés de purification permettant de n'introduire dans les chaudières que des eaux sensiblement pures.

1° ALIMENTATION AVEC DE L'EAU PURE OU PURIFIÉE.

861. Pour se procurer l'eau pure nécessaire à l'alimentation on a recours à divers moyens.

Dans certaines usines on recueille l'eau de pluie qui tombe sur les toits et on l'amène par des tuyaux dans des citernes qui doivent être assez grandes pour suffire à l'alimentation pendant les périodes quelquefois fort longues où il ne tombe pas de pluie. L'établissement de ces réservoirs entraîne des dépenses souvent considérables.

L'alimentation d'une chaudière de 50 chevaux pendant un mois de marche continue exige généralement un volume d'eau de 720 mètres cubes.

862. Dans un assez grand nombre d'applications industrielles où la vapeur est employée au chauffage, comme dans les sucreries par exemple, on peut, au moyen de dispositions convenables, recueillir la vapeur condensée et la ramener régulièrement à la bâche d'alimentation. Cette eau à peu près pure ne peut pas produire d'incrustations, mais elle a des inconvénients sur lesquels nous reviendrons plus loin (**870**).

Dans certains appareils à vapeur la condensation s'opère au contact de surfaces refroidies par l'eau ou par l'air, et la vapeur condensée est encore recueillie pour servir à l'alimentation.

863. Un autre procédé pour avoir de l'eau pure consiste à traiter avant l'alimentation l'eau ordinaire par des agents chimiques afin de précipiter les sels qu'elle tient en dissolution.

C'est ainsi qu'en ajoutant à l'eau une quantité de chaux suffisante pour saturer l'excès d'acide carbonique, on précipite le carbonate de chaux, tout au moins en grande partie, puisque le carbonate neutre est à peine soluble. On précipite en même temps le carbonate de magnésie.

Si on ajoute en quantité convenable de la baryte caustique, on précipite à l'état de sulfate de baryte tous les sulfates en dissolution (sulfates de chaux, de soude et de magnésie). Les bases mises en liberté peuvent s'unir à l'acide carbonique libre, ce qui permet de diminuer la quantité de chaux à employer. Par le repos et la décantation, ou bien par le filtrage, on retient les matières précipitées et on a de l'eau purifiée.

Ce procédé a été réalisé industriellement de plusieurs manières; voici l'une des méthodes qui peuvent être suivies :

L'appareil d'épuration se compose de deux grandes cuves pouvant contenir chacune la dépense d'eau de vingt-quatre heures et dans lesquelles on verse les quantités de chaux et de baryte calculées d'après la nature et le volume de l'eau à purifier (pour 30 mètres cubes d'eau de Seine on emploie 2 kilogr. de chaux et 3 kilogr. de baryte).

Au moyen d'un agitateur mis en mouvement par une machine, on mélange intimement, puis on laisse reposer pendant vingt-quatre heures. On décante ensuite dans un réservoir où l'on prend l'eau pour l'alimentation.

864. Le prix élevé de la baryte a fait renoncer à ce procédé, et on se contente souvent d'employer de la chaux vive, mais dans ce cas on ne se débarrasse pas du sulfate de chaux.

On a reconnu que la chaux entraînée par l'eau décantée produisait des incrustations fort dures. Il faut donc éviter avec soin de mettre un excès de chaux et, pour cela, analyser fréquemment

par le procédé hydrotimétrique l'eau avant et après sa purification.

On a constaté que l'eau ainsi préparée et simplement décantée favorisait le primage, et on a établi des filtres avec des éponges, de la laine tontisse ou du gravier.

Le tout constitue une installation qui n'est pas sans importance, mais que plusieurs compagnies de chemins de fer n'ont pas hésité à établir pour diminuer les incrustations dans les chaudières de leurs locomotives.

865. On emploie également le sel de soude pour l'épuration des eaux. Il décompose le sulfate de chaux en carbonate de chaux qui se précipite et en sulfate de soude très soluble. Il s'empare également de l'excès d'acide carbonique qui dissout le carbonate de chaux et précipite ce dernier.

L'épuration des eaux d'alimention des chaudières a toujours vivement préoccupé les propriétaires d'appareils à vapeur, aussi a-t-il été imaginé un grand nombre de dispositions ingénieuses pour atteindre ce but. Nous ne pouvons songer à les décrire toutes ici, et nous nous contenterons de décrire quelques-uns des systèmes employés.

866. Procédé Bérenger et Stingl. — Dans ce système la décantation des matières précipitées au sein de l'eau par l'action des réactifs est obtenue par la circulation continue mais lente de cette eau dans des vases verticaux d'une assez grande hauteur. Ce système n'exige pas l'emploi de filtres, ni de bassins de décantation proprement dits.

L'appareil (fig. 499) se compose d'une série d'épurateurs cylindriques terminés par une base conique pourvue d'un robinet de vidange, et munis à leur partie supérieure d'une gouttière circulaire. Au centre se trouve une conduite d'arrivée d'eau de diamètre assez grand, relativement à la quantité de liquide qui doit la parcourir et dont l'extrémité inférieure débouche dans un vase conique qui repose par trois pieds sur le fond de l'appareil. La conduite de l'épurateur de tête est surmontée d'un entonnoir hémisphérique contenant une petite coupelle dans laquelle débouchent les tuyaux d'arrivée d'eau et de réactif. Voici comment s'effectue l'opération : les deux liquides renfermés dans des

réservoirs supérieurs arrivent en proportions définies, se mélangent en barbotant dans la coupelle, descendent dans le premier récipient par la conduite d'arrivée et remontent le long des parois du cône inférieur à la sortie duquel le mélange de l'eau et des réactifs peut être considéré comme complètement achevé.

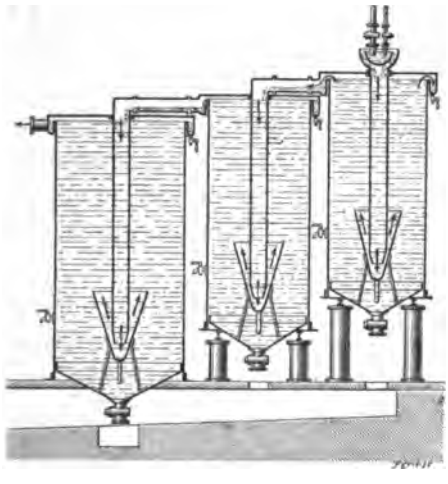


Fig. 499.

L'eau s'élève ensuite lentement dans le cylindre et se déverse enfin dans la gouttière qui est mise en communication avec la conduite intérieure du deuxième épurateur, où recommence la même série de mouvements produisant une décantation de plus en plus parfaite; l'eau passe ainsi d'un épurateur dans le suivant et sort du dernier pour se rendre à la bâche d'alimentation.

Des modifications très simples apportées dans la construction des cylindres permettent de les munir d'un couvercle étanche quand l'eau d'alimentation doit être refoulée sous pression dans un réservoir élevé, comme cela se présente dans les gares de chemin de fer.

On calcule le nombre et le volume des cylindres épurateurs d'après la quantité d'eau à préparer par heure, en comptant que la durée du passage du liquide dans l'appareil sera d'une heure à une heure et demie. Généralement trois cylindres décanteurs suffisent pour obtenir une épuration convenable.

De même, d'après l'analyse, on fixe la quantité de réactif à introduire; le débit du tuyau d'arrivée est réglé à l'aide d'un robinet gradué.

867. Procédé Paul Gaillet. — Dans ce système, comme dans le précédent, l'opération est continue; l'appareil repose sur les principes suivants : division du liquide en tranches minces,

circulation alternativement ascendante et descendante, multiplication des surfaces de dépôt.

M. Gaillet établit son appareil suivant deux types, l'un horizontal et l'autre vertical, qui ne diffèrent que par quelques dispositions de détail ayant pour but de produire l'accumulation des dépôts en certains points d'où leur extraction ne présente pas de difficultés.

L'appareil représenté figure 500, partie en élévation et partie en coupe, est du type horizontal. Il se compose d'une caisse

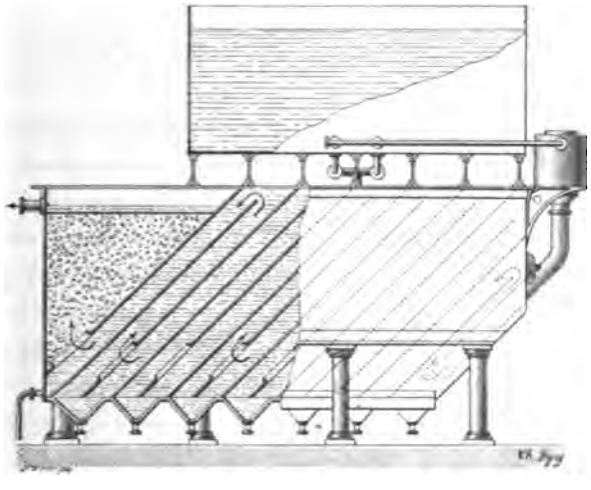


Fig. 500.

rectangulaire dont le fond est constitué par deux plans inclinés à 45° et formant par leur rencontre un angle dièdre droit. Ce dièdre est recoupé par une série de plans qui limitent des trémies destinées à recevoir les dépôts résultant de l'opération. A l'intérieur se trouve une suite de diaphragmes parallèles ayant une inclinaison de 45° et partant de la base des trémies; mais, de deux en deux, ces diaphragmes ne s'élèvent pas jusqu'au haut de la caisse et restent un peu en contre-bas du niveau de l'eau; les autres sont percés à leur partie inférieure d'un orifice dont les bords sont relevés de manière à rejeter latéralement les dépôts formés qui, dans leur mouvement de descente

viendraient rencontrer le liquide traversant les ouvertures des diaphragmes. Le vide en forme de prisme triangulaire qui se trouve au-dessus du dernier diaphragme est rempli de matières filtrantes que le liquide traverse en montant. Voici comment s'effectue la circulation dans l'appareil.

L'eau, mélangée au réactif et venant du réservoir supérieur, arrive vers la base de la caisse de décantation par l'extrémité opposée au filtre; elle circule alternativement en montant et en descendant le long des diaphragmes sur lesquels se déposent les sels, et ressort par la partie supérieure de la caisse après avoir traversé le filtre.

Les dépôts se rassemblent dans les trémies d'où on les extrait à l'aide de robinets de purge.

868. Épurateur du baron de Derschau. — Dans ce système, la magnésie ramène le bicarbonate de chaux à l'état de carbonate insoluble et forme du carbonate de magnésie. Celui-ci réagit à son tour sur le sulfate de chaux pour donner du sulfate de magnésie tellement soluble qu'il n'arrive jamais à se déposer dans les chaudières. Dans les eaux sélénitcuses, on ajoute du carbonate de magnésie afin de compléter la réaction.

L'épurateur se compose d'une série de récipients cylindriques dans lesquels s'effectuent à la fois les réactions et le filtrage de l'eau; à cet effet, les cylindres sont remplis d'un mélange spécialement préparé de sciure de bois et de magnésie hydratée.

Le bas de chacun des récipients est relié par un tuyau à la partie supérieure de celui qui le précède. L'eau qui arrive par une extrémité parcourt donc successivement chacun des réservoirs de bas en haut.

Pour éviter les arrêts pendant le nettoyage et avoir en outre une épuration méthodique, on dispose la tuyauterie de façon que l'eau puisse commencer son parcours par l'un quelconque des cylindres, où elle entre par le bas. Elle s'élève en circulant d'abord au contact du produit magnésien le plus épuisé, traverse successivement de bas en haut les cylindres suivants, et termine son parcours en passant à travers le produit le plus riche.

On remarquera que la quantité de magnésie mise en présence

de l'eau n'est pas dosée exactement, mais cela a peu d'importance à cause de la faible solubilité de cette base.

Ce procédé, qui a donné de bons résultats en Russie, n'a pu jusqu'ici se répandre en France où il est difficile de se procurer de la magnésie à des prix suffisamment bas.

869. Épuration de l'eau par l'action d'une température élevée. — La solubilité du carbonate et du sulfate de chaux diminue quand la température s'élève; entre 140° et 150° ces deux sels sont à peu près insolubles. Si donc on chauffe l'eau à cette température avant de s'en servir pour l'alimentation, on précipitera ces sels et les incrustations dans les chaudières seront très diminuées.

Pour chauffer l'eau, on a établi quelquefois de véritables chaudières disposées pour être facilement visitées et nettoyées; mais le prix de revient de l'épuration est alors trop élevé, à moins qu'on n'ait des chaleurs perdues à utiliser. On ne fait d'ailleurs que déplacer la difficulté en reportant les incrustations sur un autre point.

M. Wagner a imaginé, pour la purification des eaux d'alimentation, une disposition dans laquelle le chauffage de l'eau s'effectue par la vapeur de la chaudière. L'appareil se compose d'une grande caisse renfermant une série de plateaux horizontaux superposés et disposés de façon que l'eau versée sur le plateau supérieur coule successivement sur tous les autres; on fait circuler la vapeur en sens inverse du mouvement de l'eau.

Les sels s'accumulent sur les plateaux et dans le réservoir inférieur. On fait ensuite passer l'eau sur un filtre qui retient les matières en suspension.

Un robinet de vidange permet d'extraire les boues déposées dans le réservoir. Lorsqu'on veut nettoyer les plateaux, on ouvre la porte d'accès ménagée sur l'une des faces de l'épurateur.

Quand l'appareil est chauffé par de la vapeur d'échappement, la température peut à peine dépasser 100°, et on ne précipite qu'une partie des sels; en chauffant avec de la vapeur à 150° on enlèverait, d'après quelques expériences, jusqu'à 80 p. 100 des

sels dissous. Pour obtenir la précipitation, il faut des surfaces très étendues, et par suite des appareils très coûteux.

On a essayé d'appliquer le principe d'une manière plus simple, en projetant l'eau d'alimentation par une pomme d'arrosoir au milieu d'un courant de vapeur. Le contact n'étant pas suffisamment prolongé, le résultat obtenu est assez imparfait.

870. L'eau pure provenant de la condensation de la vapeur et employée seule à l'alimentation ne donne pas d'incrustations, mais elle a le grave inconvénient d'attaquer le métal et de détruire les chaudières assez rapidement. En la mélangeant avec une certaine quantité d'eau ordinaire, on supprime ou, du moins, on atténue beaucoup ce défaut fâcheux.

L'eau provenant de la condensation de la vapeur qui sort d'une machine est toujours plus ou moins chargée de matières grasses, ce qui constitue pour les chaudières un grand danger, comme nous le verrons plus loin (**896**).

2° ADDITION DE CERTAINS PRODUITS DANS L'EAU DES CHAUDIÈRES.

871. Tous les procédés qui ont pour effet de purifier l'eau d'alimentation exigent des installations plus ou moins coûteuses et encombrantes, et une certaine main-d'œuvre que les industriels ne se résignent à faire que lorsqu'ils y sont à peu près obligés. On se contente le plus souvent de mettre, dans l'eau d'alimentation ou dans la chaudière, certains produits qu'on appelle tartrifuges, tartrivores, etc., et qui ont pour but non pas d'empêcher la précipitation des sels, mais de rendre les dépôts peu adhérents aux parois, afin qu'on puisse les extraire plus facilement.

Ces produits peuvent agir soit physiquement, soit chimiquement, soit des deux manières à la fois.

872. Les substances qui agissent physiquement ont pour but d'empêcher l'adhérence des dépôts par l'interposition d'une matière étrangère. On en a essayé un grand nombre.

On s'est servi de l'argile délayée, qui donne quelques résultats quand elle est bien employée ; mais l'argile est lourde, elle tombe facilement au fond des réservoirs et de la chaudière

dès qu'on laisse l'eau en repos. C'est un grave inconvénient, car un dépôt d'argile au coup de feu d'une chaudière produit d'aussi mauvais effets que les incrustations elles-mêmes, et, dans ces conditions, le remède peut être pire que le mal.

Le talc paraît agir sur certaines eaux. Il est employé efficacement sur une partie du réseau de Lyon.

La glycérine est également utilisée comme désincrustant. Elle se dissout dans l'eau en toutes proportions et enveloppe d'un enduit visqueux les particules solides au moment de leur précipitation.

On se sert aussi de pommes de terre, d'amidon, de dextrine, de gomme, etc., dont le mucilage semble pouvoir dans une certaine mesure empêcher l'adhérence des sels, mais détermine à la surface du liquide la formation de mousses qui, parfois, occasionnent des entraînements d'eau pouvant avoir des conséquences fâcheuses. Il ne faut employer ce moyen qu'avec réserve et précaution.

On a essayé le sucre, la mélasse, le sirop de fécule; ces substances donnent lieu aux mêmes effets que les précédentes.

Les dissolutions tinctoriales de campêche, d'orseille, versées en proportions convenables dans l'eau d'une chaudière, agissent d'une manière assez marquée pour empêcher l'adhérence; il en est de même en général de toutes les dissolutions de bois, de sarments de vigne, etc.

On s'est contenté quelquefois de mettre directement des bûches ou des copeaux de bois dans les chaudières, mais il est arrivé que ces matières se sont déposées au-dessus du foyer et ont déterminé des coups de feu.

On s'est servi aussi, pour empêcher l'adhérence, d'un enduit de graisse appliqué sur le métal à l'intérieur des chaudières. Ce moyen n'est pas à recommander, car la graisse empêchant le contact de l'eau, la transmission de la chaleur se fait mal et la tôle se brûle. Nous signalerons du reste, dans les paragraphes 896 et 897, le danger résultant de l'emploi des eaux grasses pour l'alimentation des chaudières.

On a remplacé la graisse par du goudron ou des résidus de

pétrole ; il faut avoir bien soin de n'appliquer ces matières qu'en couche très mince.

873. L'addition, dans l'eau des chaudières, de matières qui agissent chimiquement a pour but de produire rapidement la précipitation des sels dissous et d'empêcher leur cristallisation. Ils forment alors des boues faciles à enlever et non plus des dépôts adhérents. On s'est servi pour obtenir ce résultat de la plupart des produits chimiques qu'on emploie pour la purification préalable des eaux.

On a souvent recours à la chaux, qui agit en s'unissant à l'acide carbonique ; mais la chaux en excès forme elle-même des dépôts très adhérents.

D'après M. Kuhlmann, le carbonate de soude forme avec le bicarbonate de chaux du carbonate de chaux qui se précipite et du bicarbonate de soude très peu stable, qui perd son acide carbonique et peut agir sur une nouvelle quantité de bicarbonate de chaux. Dans ces conditions, la précipitation du carbonate de chaux se produirait indéfiniment, sans renouveler le réactif. En réalité, le carbonate de soude agit sur le chlorure de calcium que l'eau peut renfermer et donne naissance à du carbonate de chaux insoluble ainsi qu'à du chlorure de sodium qui reste dans le liquide. Il y a de ce fait une certaine perte de soude.

On se sert aussi du carbonate de soude pour décomposer le sulfate de chaux ; il se forme du carbonate de chaux, lequel se précipite, et du sulfate de soude très soluble. Mais ce réactif agit difficilement sur le sulfate de chaux, et, avec des eaux séléniteuses, l'emploi du carbonate de soude ne supprime pas les incrustations.

La baryte a été employée et son effet est certain, mais c'est un produit qui n'est pas obtenu industriellement à des prix permettant régulièrement son emploi.

On peut traiter les eaux séléniteuses par le carbonate de baryte, il se forme un précipité de sulfate de baryte et de carbonate de chaux.

On se sert aussi du chlorure de barium pour se débarrasser des sulfates et des carbonates.

Le chlorhydrate d'ammoniaque a été l'objet de nombreux essais et de rapports très favorables de la part de chimistes et d'ingénieurs anglais. Employé dans une chaudière en marche, en présence du carbonate de chaux, il forme du carbonate d'ammoniaque qui se volatilise et du chlorure de calcium qui reste en dissolution.

A froid, c'est la réaction inverse qui se produirait.

En somme, le sel ammoniac semblerait empêcher la formation des incrustations dans les chaudières, mais, entraîné avec la vapeur, il attaque et ronge la fonte des cylindres de machines, ce qui a fait renoncer à son emploi.

L'acide oxalique précipite la chaux du carbonate et du sulfate, mais il met l'acide sulfurique en liberté et ne saurait être employé qu'associé à une base. De plus il coûte trop cher ; il en est de même des oxalates alcalins.

874. La Compagnie d'Orléans fait usage pour ses locomotives du produit suivant :

Eau.....	100 kil.
Bois de campêche.....	7 à 8 p. 100
Carbonate de soude.....	6 à 7 —

Ce produit est employé en quantité variable suivant le degré hydrotimétrique de l'eau servant à l'alimentation; la limite du dosage est d'ailleurs indiquée par les entraînements d'eau qui se produisent quand on introduit un excès de solution antitartrique. L'instruction relative à l'emploi de ce liquide désincrustant recommande, afin d'éviter les émulsions en marche, de ne pas en introduire dans les tenders le premier jour de service qui suit le lavage de la chaudière.

La Maison Belleville se sert d'une composition formée de 500 grammes de cachou et de 125 grammes d'une dissolution de soude caustique à 36° par litre, qui suffit pour une alimentation de 10000 litres d'eau.

875. On trouve dans le commerce une foule de produits, dits tartrifuges ou tartrivores, qui tous auraient la propriété

d'empêcher les incrustations. Les inventeurs font en général un secret de leur composition.

Nous ferons simplement remarquer qu'il est toujours très imprudent d'introduire dans les chaudières des produits dont on ne connaît pas la nature. C'est ainsi qu'en Alsace on a complètement renoncé à l'emploi de ces produits secrets, depuis que M. Walther-Meunier a analysé ceux qui lui ont été soumis et a fait connaître le résultat de ses recherches.

3° LOCALISATION DES DÉPOTS.

Les incrustations et les dépôts sont d'autant plus gênants et dangereux qu'ils se produisent dans des parties de la chaudière plus fortement chauffées ou plus difficiles à nettoyer. On a cherché des dispositions et des appareils pour forcer les dépôts à s'effectuer en des points particuliers où ils ne peuvent présenter de danger pour la chaudière et d'où il est facile de les extraire.

876. Capsule au fond des chaudières. — Le procédé le plus élémentaire consiste à placer à une petite distance du fond de la chaudière une sorte de large gouttière en tôle disposée parallèlement à la paroi cylindrique. L'eau circule avec une grande rapidité dans l'espace étroit réservé entre les deux surfaces métalliques et entraîne les sels précipités qui viennent en majeure partie se déposer dans la gouttière. Cependant, au bout d'un certain temps, des incrustations s'attachent à la paroi de la chaudière, et alors la gouttière, gênant leur enlèvement, produit un effet tout opposé à celui qu'elle devait permettre d'obtenir.

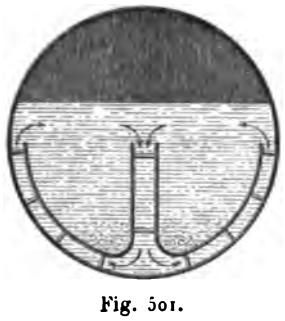


Fig. 501.

Pour faciliter la circulation, on a remplacé la gouttière unique par deux autres (fig. 501) disposées de part et d'autre de l'axe du générateur et laissant entre elles un certain intervalle. L'eau

descend par le milieu et remonte par les côtés où elle est le plus chauffée.

877. Déjecteur anticalcaire Duméry. — C'est un réservoir cylindrique, muni sur la moitié supérieure de sa hauteur d'une chicane verticale, en forme de spirale, et terminé à sa base par une partie conique pourvue d'un robinet de vidange.

La circulation résulte, dans cet appareil, de la disposition des deux tuyaux de communication avec la chaudière et de l'augmentation de densité du liquide qui se refroidit en passant dans le tube supérieur. L'eau circule très lentement en suivant la cloison, et les particules solides en suspension tombent dans la partie inférieure de la boîte, échappent à l'action du courant et se déposent. On les extrait en ouvrant le robinet de purge. Ce déjecteur ne donne de résultats que dans le cas où il est appliqué aux chaudières ordinaires à bouilleurs, et encore faut-il que les eaux ne soient pas séléniteuses.

878. Débourbeur Dervaux. — Cet appareil a pour but l'extraction automatique des dépôts boueux qui se forment dans une chaudière, par suite de l'échauffement brusque de l'eau d'alimentation dans laquelle on a ajouté un réactif approprié (chaux, soude, baryte). Le débourbeur se compose d'une sorte de récipient ou condenseur garni d'ailettes et placé au-dessus d'une bouteille servant de décanteur, avec laquelle il est en communication par un tube plongeur assez court. Le condenseur et le décanteur installés au-dessus de la chaudière sont reliés à celle-ci chacun par un tuyau débouchant à la partie inférieure du générateur. Le tuyau allant au condenseur est pourvu d'une enveloppe de vapeur, celui venant du décanteur est rempli d'eau refroidie par son passage dans le condenseur. La différence de densité des deux colonnes liquides détermine un courant d'eau ascendant, allant du fond de la chaudière au condenseur, et un courant descendant du condenseur vers le bas de la chaudière en passant par le décanteur. Le liquide ascendant est chargé de particules solides qui viennent se déposer dans le décanteur dont la section est telle que le mouvement y est beaucoup plus lent que dans les tuyaux de circulation; les boues se déposent et

l'eau décantée retourne dans la chaudière. Le tuyau ascensionnel du condenseur est, un peu au-dessous du niveau moyen de l'eau dans le générateur, percé d'une petite ouverture allongée par laquelle passent, pour se rendre au décanteur, les matières qui peuvent surnager à l'état d'écumes. Un robinet spécial, placé à la base du décanteur, permet d'évacuer les dépôts à volonté.

Fig. 502.

879. Appareils Dulac. — M. Dulac a imaginé plusieurs dispositifs basés à peu près sur le même principe que celui que nous avons décrit en premier lieu (**876**). En particulier, il en construit un spécialement destiné à la préservation des tubes Field. Cet appareil se compose d'un cylindre collecteur formant réservoir annulaire et enveloppant le tube intérieur adducteur d'eau de l'élément Field (fig. 502).

Le tube et le réservoir débouchent au même niveau, un peu en contre-bas de la surface de l'eau. Le liquide, pour arriver au tube adducteur, passe au-dessus du réservoir annulaire, dans lequel se dépose une partie des matières solides en suspension. Pour empêcher le retour de ces dépôts dans la masse liquide en mouvement, une tôle formant trémie, fixée vers le haut du réservoir annulaire, isole suffisamment la capacité inférieure.

L'appareil Belleville a été décrit lorsque nous avons parlé de la chaudière de ce constructeur (**729**).

Il est évident que cette disposition pourrait s'appliquer à la plupart des générateurs de vapeur.

880. Déjecteur Lencauchez. — Le procédé employé par M. Lencauchez consiste à échauffer avant son entrée dans la chaudière l'eau d'alimentation dans un appareil où les dépôts peuvent se produire sans inconvénients.

L'appareil représenté figure 503 est constitué par une co-

lonne ayant, avec la chaudière, une double communication au-dessus et au-dessous du niveau de l'eau; une série de boîtes superposées sont suspendues au couvercle de ce cylindre; leurs bords sont échancrés et disposés de telle manière que l'eau d'alimentation qui arrive à la partie supérieure tombe en cascade d'un étage à l'autre, tantôt vers le centre, tantôt à la circonférence.

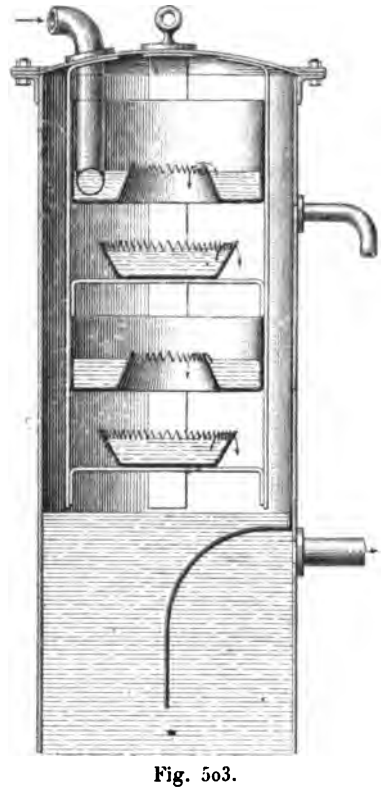


Fig. 503.

Les contacts avec la vapeur sont ainsi multipliés, et l'eau s'échauffant rapidement abandonne la majeure partie des sels qu'elle tient en dissolution; les matières précipitées se déposent soit dans les boîtes, soit à la partie inférieure du cylindre où se trouve un robinet de vidange.

Le même appareil peut être établi pour être chauffé avec la vapeur d'échappement des machines. Dans ce cas, la précipitation est moins complète.

APPAREILS ÉLECTRIQUES.

881. On a essayé à plusieurs reprises des appareils disposés dans la chambre de vapeur et destinés à créer des courants électriques dans la masse liquide. Leur fonctionnement a donné parfois quelques résultats, tandis que dans nombre de cas il est resté sans effet; on n'a trouvé aucune explication bien plausible de ces phénomènes.

L'usage de ces appareils ne s'est pas répandu, à cause de l'incertitude et de la contradiction dans les résultats obtenus.

EXTRACTIONS DANS LES CHAUDIÈRES MARINES.

882. Pour empêcher les dépôts dans les chaudières marines, ou du moins pour les rendre moins nuisibles, on s'est pendant longtemps servi exclusivement d'un procédé dit *des extractions*, qui consistait à rejeter régulièrement à la mer une certaine quantité d'eau de la chaudière et à la remplacer par de l'eau nouvelle afin d'empêcher le degré de saturation de dépasser une certaine limite.

Nous avons vu (**857**) que le sulfate de chaux constitue à peu près la totalité des dépôts dans les chaudières marines. Or le sulfate de chaux, qui entre pour 0,001 dans la composition de l'eau de mer ordinaire, ne commence à se précipiter, vers 120°, que lorsque le degré de concentration atteint 0,002. Il résulte de cette propriété que si l'on introduit 2 kilogrammes d'eau de mer pour l'alimentation, et qu'on en vaporise seulement la moitié, soit 1 kilogramme, en rejetant l'autre kilogramme à la mer, la proportion de sulfate de chaux dans la chaudière ne pourra dépasser 0,002, et théoriquement la précipitation ne se fera pas.

En fait, dans une chaudière, le degré de concentration ne saurait être uniforme; dans certaines parties, il peut dépasser le point de saturation et rester au-dessous dans d'autres. Il se forme donc toujours des dépôts, mais par les extractions on en réduit considérablement l'importance.

L'opportunité des extractions se reconnaît au moyen des pèsesels ou aréomètres qui, plongés dans l'eau puisée à la chaudière, indiquent le degré de concentration.

Pour que les extractions soient efficaces il ne faut pas que la température de l'eau dépasse 130°, le sulfate de chaux devenant rapidement insoluble aux températures plus élevées. C'est une des raisons pour lesquelles pendant longtemps, dans les chaudières marines, la pression de la vapeur fut limitée à 3^{at}. L'emploi des condenseurs à surface a permis d'aller au delà et d'atteindre les pressions élevées auxquelles la vapeur est aujourd'hui utilisée.

Les extractions entraînent une perte de chaleur assez notable. Sur deux litres d'eau introduits dans la chaudière on en rejette un à la mer. La température étant de 130°, on voit que la chaleur dépensée est pour le kilogramme d'eau vaporisée 640 calories, pour le kilogramme jeté à la mer 130 calories; soit en totalité 770 calories, sur lesquelles 130 sont perdues. Le rapport $\frac{130}{770}$ indique que la perte atteint presque 17 p. 100.

Dans les chaudières fixes, on emploie aussi quelquefois les extractions, mais à de longs intervalles et pour se débarrasser par une vidange brusque des boues qui se sont accumulées au fond de la chaudière.

883. En résumé aucun procédé, excepté celui de l'emploi de l'eau pure, n'empêche complètement les dépôts et les incrustations, et au bout d'un certain temps de service, il en existe toujours une quantité appréciable sur les parois. Ces incrustations, quand elles se déposent dans certaines parties éloignées du feu, ou quand elles forment une couche peu épaisse, n'ont d'autre inconvénient que de diminuer la transmission de la chaleur; mais quand elles se trouvent accumulées sur des tôles rapprochées du foyer et fortement chauffées, elles créent de sérieux dangers, car elles peuvent déterminer la brûlure, puis la rupture du métal et par suite l'explosion de la chaudière.

Il est de la plus haute importance de faire assez fréquemment visiter l'intérieur des générateurs et d'enlever en temps utile les incrustations qui ont pu se former. On conçoit d'après cela la supériorité des systèmes de chaudières qui permettent d'effectuer facilement cette visite et ce nettoyage.

884. Pour enlever les incrustations adhérentes, un ouvrier pénètre à l'intérieur et, au moyen d'un marteau spécial, *pique* la chaudière à coups répétés qui détachent en éclats la couche d'incrustations. C'est un travail long et pénible, qui ne doit être confié qu'à un ouvrier très soigneux; il est surtout important de s'assurer que les parties exposées au feu ont été bien nettoyées, ainsi que les cuissards de communication et les tubes d'alimentation.

Pour les chaudières dans lesquelles on ne peut pénétrer, comme c'est le cas de la plupart des chaudières tubulaires, on réserve sur les parois, partout où c'est possible, des trous de bras ou trous de sels qui permettent d'enlever partiellement les incrustations avec des outils appropriés, tels que des grattoirs et des ciseaux.

Il est rarement possible de nettoyer complètement les faisceaux de tubes fixes et, sous ce rapport, les chaudières à vaporisateur amovible, qui permettent de mettre tous les tubes à découvert, sont bien préférables.

Pour enlever les incrustations qui ont pu se déposer à l'intérieur des tubes de petit diamètre composant les faisceaux tubulaires des chaudières à vaporisation rapide, on démonte les tampons placés aux extrémités des éléments et on introduit dans les tubes un grattoir généralement formé d'une fourche à branches flexibles terminées par une partie coupante.

885. Il arrive que, par suite de négligences ou de difficultés de nettoyage, certaines chaudières, notamment celles des types tubulaires, sont recouvertes d'incrustations si épaisses qu'il n'est plus possible de les enlever à l'aide des outils ordinaires; on peut alors considérer la chaudière comme perdue.

Dans ces cas désespérés on a essayé de détacher les incrustations en faisant, dans le foyer de la chaudière vide d'eau, un feu flambant de bois et de copeaux. Les parois et les tubes chauffés brusquement se dilatent plus vite que les incrustations qui les recouvrent, et celles-ci peuvent alors se détacher et tomber en éclats.

C'est un moyen qu'on ne peut essayer qu'à la dernière extrémité et qui, dans tous les cas, entraîne pour la chaudière d'importantes réparations.

Un autre moyen du même genre consiste à faire bouillir dans la chaudière de l'eau renfermant de l'acide chlorhydrique; l'acide attaque et désagrège les incrustations, mais il attaque en même temps le métal, et il faut avoir soin de laver l'intérieur de la chaudière avec une solution de carbonate de soude afin de neutraliser l'acide resté libre. Toutefois, après un

nettoyage de ce genre, la chaudière ne peut être que profondément altérée.

§ XII

DÉFAUTS ET ALTÉRATIONS DES CHAUDIÈRES. — ACCIDENTS ET EXPLOSIONS. RÈGLEMENTS.

886. Les générateurs de vapeur sont exposés, par suite des conditions particulières dans lesquelles ils fonctionnent, à des accidents assez souvent sans gravité, mais quelquefois désastreux, comme les explosions qui renversent les bâtiments et causent tous les ans les blessures et la mort d'un grand nombre de personnes.

Ces accidents sont la conséquence de défauts ou d'altérations qu'il aurait été presque toujours possible de découvrir en temps utile par une surveillance attentive et auxquels on aurait pu en général remédier. Les défauts proviennent de vices de construction; les altérations résultent soit d'un surchauffement du métal, soit de corrosions intérieures ou extérieures.

VICES DE CONSTRUCTION.

887. Le premier soin à prendre avant la mise en place d'une chaudière, c'est de la visiter avec attention dans toutes ses parties pour s'assurer qu'elle n'a pas de vices de construction. Cet examen doit être fait autant que possible à l'atelier au moment de la fabrication; les défauts sont alors visibles, tandis qu'à la livraison ils peuvent être plus ou moins dissimulés, notamment par la couche épaisse de peinture dont on recouvre les chaudières pour les préserver de l'oxydation avant leur mise en place.

Après s'être assuré que les épaisseurs, les rivures, les armatures sont partout suffisantes et conformes aux dessins arrêtés, il faut rechercher avec soin les pailles ou défauts de soudures

des tôles, les mauvaises rivures, les fentes et les criques et rebuter toutes les pièces qui pourraient laisser à désirer sous ces divers rapports.

L'essai à la presse hydraulique, prescrit par le règlement, donne d'utiles indications, mais il ne doit pas empêcher l'examen minutieux de la chaudière au moment convenable.

888. Pailles. — Un défaut assez fréquent est le dédoublement des tôles; on le désigne sous le nom de *paille;* il est souvent difficile à voir et se manifeste ordinairement sous l'action de la chaleur. Les différentes mises qui composent la tôle se séparent si elles sont mal soudées et une fente apparaît à la surface, s'enfonçant plus ou moins dans l'épaisseur du métal; aussitôt qu'on découvre dans une chaudière une fente de cette nature, il faut couper la partie détachée et en chanfreiner les bords avec soin. Si ce travail est bien fait et si le défaut a peu de surface et de profondeur, la paille ne s'étend plus. Mais s'il arrive qu'elle pénètre trop profondément et que l'épaisseur restante soit trop faible, il est nécessaire de faire une réparation.

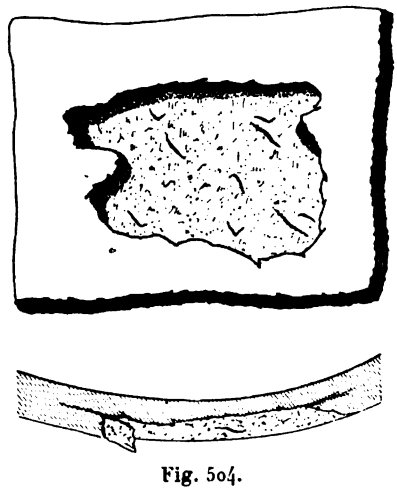


Fig. 504.

La figure 504 représente une forte paille à la tôle de coup de feu d'une chaudière à bouilleurs. La tôle avait 9,5 mm. d'épaisseur et se trouvait formée de deux lits dont l'extérieur avait 5,5 mm. Ce dernier s'est brûlé et il a fallu mettre une pièce.

A la réception, il faut rebuter rigoureusement les tôles où la loupe fait découvrir des crasses en quantité notable ou des fentes indiquant l'absence de soudure.

889. Mauvaises rivures. — Lorsque les tôles sont mal rivées, il peut se produire des fentes reliant parfois plusieurs trous de rivets ou bien allant de ceux-ci au bord de la tôle.

Souvent aussi les trous des deux tôles à assembler ne sont pas exactement superposés; on les rectifie tant bien que mal en passant une broche, mais dans ces conditions la tige du rivet ne saurait remplir le trou et on augmente le mal par un matage exagéré, effectué dans l'espoir d'empêcher les fuites. La rivure est alors soumise à des tractions inégales, et quand on l'expose à l'action de la chaleur elle se déforme par la simple dilatation Les joints cèdent et il peut en résulter un désastre.

890. Criques ou fentes. — Dans la construction des chaudières, le travail de cintrage, d'emboutissage et de courbure doit être fait avec habileté et en n'employant que des tôles de bonne qualité pour qu'il ne se manifeste ni criques ni fentes dans les parties arrondies; quand un de ces accidents se produit, on essaye trop souvent, pour ne pas perdre le travail déjà fait, d'utiliser la tôle altérée et on effectue une réparation qui consiste à boucher la fente avec un rivet quand elle a très peu d'étendue. Souvent on applique plusieurs rivets filetés qu'on place en ligne et qu'on visse les uns contre les autres de manière à ce qu'ils se servent mutuellement d'appui. Quand la fente est un peu prononcée, une telle réparation crée un danger permanent, et il ne faut jamais accepter des tôles ayant subi une opération de ce genre.

ALTÉRATION DES CHAUDIÈRES.

ALTÉRATION PAR SURCHAUFFEMENT DU MÉTAL.

891. Causes. — Parmi les accidents qui surviennent aux chaudières, beaucoup sont la conséquence d'un surchauffement du métal qui, porté à une température trop élevée, diminue de résistance, s'altère, se ramollit, se fend et peut même finir par se rompre sous l'action de la pression.

Ce surchauffement peut se produire dans plusieurs cas que nous allons successivement passer en revue.

892. Abaissement du niveau de l'eau. — Il y a d'abord l'abaissement du niveau de l'eau dans la chaudière, par suite du manque d'alimentation ou pour d'autres motifs tels que la com-

munication accidentelle, par la vidange, avec une chaudière voisine où la pression est plus faible, etc.

Aussitôt que l'eau cesse de mouiller la tôle, la température du métal s'élève et les phénomènes de détérioration se produisent rapidement.

Les chauffeurs doivent veiller avec le plus grand soin à maintenir le niveau à la hauteur normale et s'assurer fréquemment que les indicateurs, tubes de verre, flotteurs, etc., fonctionnent exactement ; il arrive trop souvent en effet que le tube de verre est cassé et le flotteur accroché ou noyé. Le soin de l'alimentation est pour le chauffeur un des plus importants au point de vue de la sécurité.

893. Vaporisation trop rapide. — Le surchauffement peut encore résulter d'une vaporisation trop énergique sur les parois fortement chauffées ; c'est ainsi que, le long des faces verticales exposées au feu, la vapeur qui se dégage en abondance forme un courant vertical qui grossit en montant et isole le métal du contact de l'eau. Cet effet est surtout sensible lorsque les deux faces d'une chaudière sont assez rapprochées pour que de grosses bulles de vapeur puissent rester momentanément adhérentes aux deux parois, grossir peu à peu et ne se dégager que quand l'accroissement de leur volume leur a communiqué une force ascensionnelle suffisante pour soulever la colonne d'eau qui les surmonte. Pendant tout le temps qu'elles restent attachées aux parois, celles-ci ne sont pas refroidies et se surchauffent. Mais, dans les conditions ordinaires, on peut pousser les feux aussi vivement qu'on le veut sans risquer de brûler les tôles, pourvu que celles-ci soient bien saines et bien mouillées par l'eau (**897**).

Quelquefois le surchauffement provient de ce que la vapeur se cantonne dans le haut de tubes chauffés, d'où elle ne peut se dégager parce que les tubulures de départ ne sont pas placées au point haut.

894. Relèvement des carneaux de fumée. — Dans certains cas enfin, soit par vice de construction, soit par suite de la dégradation des maçonneries, l'intrados des carneaux s'élève au-dessus du niveau de l'eau et la chambre de vapeur est alors exposée au contact des gaz de la combustion.

Cet état de choses constitue en outre une contravention au règlement, qui exige que le niveau de l'eau soit toujours à six centimètres au moins au-dessus de l'arête supérieure des carneaux.

895. Incrustations. — Les incrustations peuvent occasionner le surchauffement des tôles de chaudières qu'elles recouvrent. Il suffit en effet d'un dépôt de quelques millimètres au coup de feu pour diminuer la transmission de la chaleur et élever notablement la température de la tôle. Mais les incrustations qui se forment en se déposant régulièrement et lentement ne sont pas les seules qui soient à craindre. Dans nombre de chaudières, on a constaté que les dépôts s'accumulent quelquefois rapidement et en abondance sur certains points et principalement au-dessus du coup de feu. Cette accumulation provient de ce que les incrustations formées dans d'autres parties de la chaudière se détachent sous forme d'écailles et, entraînées par le courant, viennent se réunir en un point déterminé de la chaudière. A chaque nettoyage, on trouve le dépôt au même endroit. Si les nettoyages ne sont pas faits en temps utile, ces dépôts, lorsqu'ils sont accumulés au-dessus du foyer, déterminent des coups de feu qui nécessitent des réparations importantes, et il arrive souvent que, les mêmes causes produisant les mêmes effets, des accidents identiques se reproduisent toujours au même endroit.

896. Alimentation avec des eaux grasses. — La présence de matières grasses dans l'eau d'alimentation suffit quelquefois pour empêcher le contact de l'eau avec le métal et produit par suite le surchauffement de ce dernier. Certains faits industriels, que nous allons rapporter sommairement, ont appelé sur ce point l'attention et démontré par de graves accidents que l'action des matières grasses pouvait être des plus nuisibles.

En 1864, aux forges de M. Borsig en Silésie, six chaudières à foyer extérieur furent établies pour le service des machines soufflantes.

Elles étaient alimentées avec de l'eau puisée dans deux bassins où se rendaient les purges des cylindres et l'eau de condensation. Au bout de quelques semaines, des fuites se déclarèrent aux joints et aux assemblages ; elles devinrent bientôt si abondantes

qu'on fut obligé d'éteindre les feux et d'arrêter le haut fourneau. On constata aux tôles de forts coups de feu et des avaries graves.

On répara les chaudières avec soin et on remit en marche en modifiant, pour trois d'entre elles, les dimensions de la grille et des carneaux.

Au bout de peu de temps on fut encore obligé d'interrompre le travail.

On installa trois nouvelles chaudières à bouilleurs qui ne donnèrent pas de meilleurs résultats. Au bout de quarante-huit heures il se produisit des fuites. Le chauffage était si inégal que le corps cylindrique reposant en avant sur la plaque du foyer se soulevait de 50 millimètres et se baissait à chaque ouverture de la porte avec une rapidité suffisante pour que le mouvement fût sensible à la vue. On cherchait sans résultat la cause de ces phénomènes lorsque, peu de temps après avoir mis en feu une des chaudières, on entendit un bruit sourd suivi d'une détonation et d'un soubresaut violent de la chaudière. Ce fait conduisit à penser que l'eau ne mouillait plus certaines parties des parois de la chaudière et que les matières grasses du bassin d'alimentation pouvaient bien en être la cause.

On supprima les purges et les eaux de condensation et, dès ce moment, les accidents cessèrent.

En 1866, MM. Farcot installèrent à Pont-Remy, pour la Société linière, un générateur tubulaire de 160 m. de surface de chauffe; deux mois après la mise en marche, des fuites intenses se déclarèrent presque subitement à toutes les clouures supérieures du foyer intérieur. Après avoir réparé avec soin, on remit en feu; le quatrième jour il se produisit de nouvelles fuites identiques aux premières; on répara de nouveau et ainsi jusqu'à sept fois, et toutes les réparations et les modifications qu'on put faire n'amenèrent aucun résultat.

A bout de recherches, MM. Farcot finirent par penser que l'eau d'alimentation pouvait bien être la cause des accidents. Bien que la chaudière fût refusée en principe, on fit une nouvelle réparation et on tenta un nouvel essai avec une eau différente;

depuis cette époque, aucun accident n'est survenu et le générateur a fonctionné à l'entière satisfaction de la Société linière de Pont-Remy.

C'étaient bien réellement des matières grasses contenues dans l'eau d'alimentation qui étaient la cause de tous ces accidents, comme pour les chaudières de M. Borsig.

Si dans les deux premiers mois il n'y avait pas eu de fuites, c'est qu'on avait introduit journellement dans les chaudières une certaine dose de carbonate de soude. Les accidents ont commencé dès qu'on a cessé d'employer ce sel.

Lorsqu'on examine la face interne des parois d'une chaudière qui a subi des accidents de ce genre, on la trouve recouverte d'une couche mince d'un dépôt formé d'une poudre grise mélangée quelquefois de masses d'une matière dure et cassante. La poudre est douce, légère et savonneuse ; mise dans l'eau, elle ne se mélange pas à ce liquide, n'est pas mouillée par lui et flotte à sa surface. L'eau qu'on verse sur elle se met en gouttelettes.

L'analyse de cette poudre y a fait reconnaître 75 à 80 p. 100 de carbonate de chaux et de magnésie, et jusqu'à 5,44 p. 100 de matière grasse et de substance organique.

La matière dure trouvée dans les chaudières de M. Borsig renferme aussi un corps gras et même en plus forte proportion que nous ne l'avons indiqué ci-dessus ; elle paraît avoir éprouvé des modifications de la part d'un feu violent.

Des essais de laboratoire ont démontré que le savon de chaux formé par les matières grasses avec le carbonate de chaux et de magnésie que renferment la plupart des eaux possède certaines propriétés des corps gras, que, comme eux, il n'est pas mouillé par l'eau et qu'il est même encore plus nuisible parce qu'il s'étale davantage ; dans ces conditions, le métal se surchauffe, et lorsque la température est suffisante pour brûler le savon calcaire qui l'enduit, la tôle se découvre, se mouille brusquement et il se produit une petite explosion partielle suivie d'un refroidissement brusque qui détériore les joints et les assemblages.

On n'est pas bien fixé sur la proportion de calcaire et de ma-

tière grasse qui produit ces effets. Il y a beaucoup de chaudières, alimentées avec des eaux calcaires et grasses, dans lesquelles ne se produit aucun des effets que nous venons d'examiner. La présence de la magnésie paraît exercer une certaine influence. Dans tous les cas, il paraît démontré qu'en ajoutant dans l'eau du carbonate de soude en quantité suffisante pour saponifier les graisses, on détruit leurs effets nuisibles.

897. *M. Hirsch*, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, a fait, sur la vaporisation dans les chaudières au droit du foyer, de très remarquables expériences dont les résultats sont consignés dans les Annales du Conservatoire des arts et métiers.

Nous extrayons du rapport de M. Hirsch des renseignements fort intéressants sur la résistance à la chaleur des tôles de coup de feu suivant les conditions de fonctionnement des chaudières.

Ainsi on a constaté qu'une tôle saine et continue peut, sans danger, être exposée sur l'une de ses faces à un feu extrêmement violent, pourvu que son autre face soit bien baignée par l'eau.

Mais, si le contact entre l'eau et la tôle n'est pas constamment assuré, il y a lieu de redouter des accidents.

Quand, par exemple, on dépose sur une tôle de coup de feu une couche de plâtre de 1 millimètre d'épaisseur, la température de la face chauffée s'élève d'environ 30° au-dessus de ce qu'elle aurait été pour une tôle en contact immédiat avec l'eau; avec une couche de plâtre de 5 millimètres, la température de la face chauffée peut atteindre 400°. Cela prouve combien on doit s'attacher à combattre les incrustations.

Pour apprécier l'influence d'une doublure des tôles, comme il en existe au droit des coutures des assemblages, on a soudé sur le fond d'une chaudière un fragment de tôle d'acier de 5 millimètres d'épaisseur; on a constaté que la température de la face chauffée de la tôle dépassait de 200° celle de l'eau; il résulte de là qu'il n'est pas très prudent d'exposer les rivets des clouures à un feu trop ardent.

L'effet des pailles a été de même étudié au moyen d'une chaudière présentant un double fond avec interposition de talc; la

température de la tôle a dû dépasser 450° et le coup de feu était imminent. C'est une démonstration évidente du danger que peuvent présenter les pailles dans le voisinage du foyer.

Enfin M. Hirsch a fait des recherches spéciales sur l'influence des corps gras; l'oléonaphte, les huiles de lin et de colza, la valvoline, le mastic de minium, l'axonge plombaginée ont été successivement expérimentés.

On a ainsi trouvé que l'huile de lin, même en enduit imperceptible, possède la fâcheuse propriété de déterminer le coup de feu avec une grande facilité; un chiffon imbibé d'oléonaphte et appuyé sur la tôle de coup de feu ou une boulette de minium écrasée sur cette même tôle peuvent également déterminer un accident; l'action de l'axonge plombaginée est aussi à redouter; celle du goudron paraît être sans importance. La valvoline ne détermine le coup de feu qu'avec une vaporisation excessivement intense.

En résumé, voici les conclusions que M. Hirsch tire de son remarquable travail :

1° Une tôle saine et continue, bien mouillée par l'eau de la chaudière, même exposée à un feu violent, ne prend, en aucun de ses points, une température assez élevée pour que sa résistance soit sensiblement altérée;

2° La viscosité de l'eau, même lorsqu'elle est portée à un degré assez élevé, n'empêche pas la tôle d'être mouillée et ne diminue pas le pouvoir réfrigérant du liquide;

3° La transmission de la chaleur est plus ou moins gênée par la doublure des tôles; une rivure, même bien faite, ne doit pas être exposée à un feu trop violent;

4° Une paille dans l'épaisseur d'une tôle, ou un défaut de contact intime entre les deux tôles d'une clouure, dans les parties du générateur exposées à un feu un peu intense, constitue une cause grave d'accident;

5° Le contact d'une maçonnerie réfractaire, même portée à une température élevée, ne présente pas de danger, si la tôle est continue et bien mouillée;

6° Tout enduit gras déposé sur la paroi interne de la tôle gêne fortement la transmission de la chaleur;

7° Lorsque l'enduit gras est constitué par un corps susceptible de se décomposer par la chaleur, le coup de feu est particulièrement à redouter.

Les corps gras organiques, huiles de lin, de colza, etc., semblent, à cet égard, beaucoup plus dangereux que les corps gras minéraux.

Enfin, comme dernière conséquence, on peut déduire de ces expériences qu'une chaudière, bien établie, bien tenue, propre et convenablement pleine, ne court pas le risque d'être brûlée, même avec un feu vif; que, d'autre part, lorsque le feu est ardent, il est nécessaire de prendre des précautions sévères et notamment d'éloigner avec soin tout ce qui pourrait gêner la transmission de la chaleur, soit dans l'épaisseur du métal, soit entre le métal et l'eau.

ACCIDENTS PRODUITS PAR LE SURCHAUFFEMENT.

898. Bosses. — Si, pour l'une quelconque des causes que nous venons d'énumérer, la tôle fortement chauffée n'est plus en contact avec l'eau, elle se surchauffe, se ramollit et se déforme sous l'action de la pression; cet effet se produit surtout pour les tubes pressés de l'intérieur vers l'extérieur, qui subissent une espèce de défoncement.

Avec de bonnes tôles, le défoncement peut être très profond sans déterminer de crevasses; la tôle peut se retourner presque complètement et, dans le cas d'un foyer intérieur par exemple, venir s'appuyer sur l'autel sans donner lieu à aucune crique. Au contraire, avec des tôles de médiocre qualité, il se produit de suite une fente et la crevasse peut être assez forte pour causer une explosion.

Les bosses sont un des accidents fréquents des chaudières; on les éviterait dans la plupart des cas par des nettoyages fréquents, permettant d'enlever les incrustations en temps utile.

899. Déplacements des chaudières. — Sous l'action de la chaleur la tôle de coup de feu d'un bouilleur un peu incrusté se surchauffe, se dilate, et le bouilleur prend la forme d'un arc;

il se relève à l'avant et ne s'appuie plus sur les sommiers, on dit qu'il *lève le nez*. Au premier refroidissement le bouilleur reprend sa place.

En expérimentant sur une chaudière revêtue d'incrustations, on a reconnu que l'avant était continuellement en mouvement. La simple ouverture des portes pour jeter trois ou quatre pelletées de charbon le faisait baisser de trois ou quatre millimètres ; lors d'un nettoyage du feu, l'avant baissa de 14,5 millimètres et se releva ensuite de 15,5 millimètres.

Dans ces conditions, toute la partie antérieure est en porte à faux sur la première rivure transversale qui supporte un effort considérable, et il en résulte le plus souvent des fuites ou des ruptures. Ces mouvements continuels sont, en outre, une cause de dégradation pour la maçonnerie de la devanture du fourneau qu'il est impossible de tenir en bon état et qu'il faut continuellement rejointoyer avec de la terre à four et souvent même reconstruire complètement pour empêcher les rentrées d'air.

Quand, dans un bouilleur ou dans un tube chauffé quelconque, la tubulure de dégagement de la vapeur n'est pas placée tout à fait au point haut, la vapeur, ne pouvant se dégager librement, se cantonne sur une certaine étendue à l'arête supérieure; le métal se surchauffe, s'allonge sur cette arête, la tôle se cintre en dessous et le tube *baisse le nez*. C'est l'effet inverse du précédent.

900. Ondulations transversales. — Le surchauffement de la tôle au coup de feu peut se manifester aussi par des ondulations transversales de dimensions très variables. Ces ondulations réduisent la longueur de la tôle et, lorsque le feu baisse, la contraction fait subir une tension violente à la rivure voisine. Ce gondolement peut se produire encore quand on vide les chaudières avant que les carneaux ne soient suffisamment refroidis; le surchauffement de la tôle est alors produit par la chaleur emmagasinée dans les maçonneries.

901. Fentes aux rivures. — Un des effets du surchauffement est de produire des fentes aux rivures. Ces fentes joignent

les bords de la tôle aux trous des rivets et fréquemment même se prolongent au delà. Pour les arrêter on se contente souvent de forer un trou à leur extrémité et de boucher ce trou avec un rivet.

D'autres fois, les fentes se produisent entre les rivets et en général dans la tôle intérieure de l'assemblage. Ces fentes ne peuvent généralement pas être aperçues pendant la marche du générateur, et, comme elles s'accroissent parfois rapidement, elles constituent un défaut des plus dangereux.

On constate également des fentes en pleine tôle suivant les lignes de matage, les cornières, les courbures des fonds ou des pièces embouties.

Toutes ces fentes occasionnent des fuites plus ou moins abondantes, et exposent à tous les accidents et aux dangers que celles-ci entraînent.

902. Altération des tôles dans les parties les plus chauffées. — Dans les chaudières, les parties de tôle directement exposées à l'action du feu subissent une altération progressive qu'on peut expliquer de la manière suivante : le métal fortement chauffé extérieurement et parfois insuffisamment rafraîchi à l'intérieur, prend une température élevée et comme il est brusquement refroidi à chaque ouverture des portes du foyer, il se trouve soumis à des dilatations et contractions répétées, qui altèrent sa texture. La tôle prend à la longue un état rouverin particulier, qui la rend cassante.

L'altération que nous venons de signaler paraît avoir occasionné, dans les chaudières à bouilleurs, plusieurs accidents qui semblaient inexplicables. On ne pouvait, en effet, dans les conditions où ils s'étaient produits, les attribuer à aucune des causes que nous avons énumérées (§ **891** à **897**), ni à une insuffisance d'épaisseur de paroi, ni à un excès de pression, ni à un coup de feu proprement dit.

Par une série d'essais effectués sur des éprouvettes prises dans les parties saines et dans les parties avariées des tôles de deux bouilleurs ayant fait explosion, M. Perissé a montré que le métal s'était altéré et qu'il s'était formé de petites cassures ou criques.

Celles-ci, d'abord invisibles, s'étaient étendues peu à peu et, se réunissant, avaient fini par occassionner les accidents.

ALTÉRATIONS PAR DES CORROSIONS.

Les corrosions des tôles peuvent se produire à l'intérieur ou à l'extérieur des chaudières.

Nous allons indiquer les principales causes qui peuvent les déterminer.

903. Corrosions intérieures. — Beaucoup de chaudières à vapeur se rongent sur les parois intérieures d'une manière en général assez lente et capricieuse.

Souvent les tôles ne sont attaquées qu'en un petit nombre de points; il s'y forme des cavités à peu près circulaires qui s'approfondissent et s'élargissent. Ces cavités sont remplies d'une poussière noire formée en majeure partie d'oxyde de fer et qui contient ordinairement du carbonate de chaux et d'autres sels renfermés dans l'eau. On y trouve rarement du chlorure de fer. Elles sont quelquefois couvertes d'une ampoule d'oxyde.

Les corrosions de ce genre ont cela de particulier que les points attaqués sont rares et qu'une fois les trous commencés, ils se creusent pendant des années et jusqu'à perforation, alors que souvent tout le reste de la tôle demeure intact.

Dans d'autres cas, au contraire, la tôle est attaquée avec une certaine régularité et s'amincit progressivement sur une assez grande étendue. Cette corrosion peut se produire lorsqu'on alimente les chaudières avec l'eau de ruisseaux qui ont reçu les résidus de fabriques de produits chimiques, ou l'eau de certaines mines; mais il n'est pas nécessaire que les eaux soient acides pour qu'elles soient corrosives; l'attaque paraît souvent due à l'action oxydante de l'air dissous dans l'eau et parfois à l'action des chlorures alcalins. Les parties le plus souvent rongées dans une chaudière sont les tôles situées au-dessus du feu et celles qui sont les plus froides; les tôles intermédiaires sont rarement attaquées.

Dans les chaudières à réchauffeurs, c'est le corps le moins

chauffé qui subit cette corrosion. L'attaque se produit activement dans les chaudières où on laisse de l'eau pendant qu'elles ne travaillent pas.

Le remède dont M. Vinçotte a reconnu l'efficacité consiste à débarrasser complètement de l'oxyde rongeur les cavités qu'on rencontre et à les peindre au goudron ou autrement.

Dans certaines chaudières, c'est au contraire la tôle de la chambre de vapeur qui est attaquée. M. Vinçotte rapporte que, dans une chaudière alimentée avec de l'eau du terrain ardoisier, toute la partie située au-dessous du niveau de l'eau était intacte, tandis que la chambre de vapeur était rongée tout le long de la chaudière. La tôle était creusée d'une foule de petites rigoles sur une zone de 15 à 20 centimètres de large, située un peu au-dessus du niveau de l'eau.

904. Corrosions extérieures. — Les corrosions extérieures sont la plus grande cause de détériorations des chaudières à vapeur; elles se produiseut en général plus vite que les corrosions intérieures et exercent souvent leur action en des points qu'il est difficile de visiter; aussi sont-elles particulièrement dangereuses.

Elles sont principalement occasionnées par l'acidité de certains produits de la combustion et par l'humidité.

905. Corrosion par l'humidité. — L'humidité peut provenir de fuites d'eau ou de vapeur, ou bien résulter d'un refroidissement excessif des gaz de la combustion, qui contiennent de la vapeur d'eau.

Si les fuites ont lieu dans les carneaux et sont peu abondantes, la chaleur des gaz suffit pour les sécher et pour empêcher l'oxydation des tôles; quand elles se produisent en dehors des conduits de fumée, elles occasionnent une humidité persistante et sont par suite plus dangereuses que les premières.

906. Corrosions par les produits acides de la combustion. — Après quelque temps de marche, toute la surface chauffée d'une chaudière est couverte d'une couche de poussière et de suie présentant des aspects différents selon les points où

elle se dépose; elle varie avec la nature du charbon et diverses circonstances spéciales.

La nature corrosive de ces dépôts est généralement due à la présence de traces d'acide sulfurique provenant de l'action de l'humidité sur les produits sulfureux qui prennent naissance pendant la combustion des charbons pyriteux.

Nous arrêterons là l'énumération des différentes causes de destruction des chaudières et de leurs effets, renvoyant pour des études plus complètes sur ce sujet aux intéressants rapports publiés par les ingénieurs en chef des associations pour la surveillance des appareils à vapeur, MM. Walther-Meunier, Vinçotte, Schmidt, Compère, etc.

ASSOCIATIONS DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR.

907. Il s'est formé dans un grand nombre de centres industriels en France (Amiens, Bordeaux, Lille, Lyon, Marseille, Montpellier, Mulhouse, Nantes, Paris, Reims, Rouen) et à l'étranger (Angleterre, Allemagne, Autriche, Belgique, Suisse), des associations de propriétaires d'appareils à vapeur ayant pour but de prévenir, autant que possible, les accidents et les explosions des chaudières et en même temps de mettre leurs membres à même de réaliser des économies dans la production et dans l'emploi de la vapeur.

A cet effet, les agents de l'association procèdent périodiquement, sous la direction d'un ingénieur en chef, à des visites intérieures et extérieures des chaudières à vapeur.

La visite extérieure consiste dans l'inspection de toutes les parties visibles du générateur, des appareils de sûreté et d'alimentation et enfin de la conduite du feu.

La visite intérieure a une importance capitale au point de vue de la sécurité, elle consiste dans une inspection complète des carneaux et de l'intérieur de la chaudière.

Ces visites répétées permettent de procéder en temps utile aux réparations nécessaires; elles ont, sans nul doute, prévenu de nombreux accidents.

Les nouveaux règlements (**917**) sur les chaudières à vapeur reconnaissent d'ailleurs aux associations certains droits qui ne sont pas sans importance, et les agents des mines sont autorisés à tenir compte de cette surveillance pour dispenser les sociétaires de certaines formalités imposées par les règlements. Pour de plus amples renseignements sur ces associations, on pourra consulter avec fruit la note présentée par M. Compère au Congrès International des accidents du travail, lors de l'Exposition Universelle de 1889.

ACCIDENTS DES CHAUDIÈRES.

908. Les fuites sont les accidents les plus fréquents qui se produisent dans les chaudières. Il faut y remédier dès qu'on s'aperçoit de leur existence. Pourtant, quand elles sont légères et ne compromettent pas le service, on peut, à la rigueur, remettre leur réparation au premier arrêt de la chaudière, si celui-ci doit avoir lieu à bref délai.

Quand la fuite est abondante, elle peut devenir gênante et empêcher la chaudière de fonctionner. Si, par exemple, elle se manifeste au-dessus du foyer, comme c'est souvent le cas, elle éteint les feux. Il suffit d'ailleurs d'une section de fuite relativement faible pour donner passage à des volumes considérables d'eau et de vapeur et produire des brûlures et des asphyxies. La rupture d'une clé de robinet, d'un levier de soupape de sûreté, ont suffi quelquefois pour causer les plus graves accidents.

Supposons qu'il se produise brusquement, au-dessous du niveau de l'eau d'une chaudière, une ouverture de 10 centimètres carrés de section ($0^m,035$ de diamètre environ); si la pression effective est de 5 kilogrammes par centimètre carré, la vitesse d'écoulement de l'eau sera :

$$v = \sqrt{19,62 \times 10 \times 5} = 31^m,32$$

et, en ne tenant pas compte de la contraction de la veine liquide, le poids écoulé par $1''$ sera

$$p = 0,001 \times 31,32 \times 1000 = 31,32 \text{ kilog.}$$

La température de cette eau tombant de 158° à 100°, il y aura mise en liberté de 1816 calories ($31,32 \times 58$) qui produiront $3^{kil},38$ de vapeur à 100° en 1″, soit environ 203 kilogr. en 1′. Le volume de cette vapeur serait de 338 mètres cubes.

Il est bien peu de chambres de chaudières ayant 100 mètres cubes de capacité; le plus souvent elles sont étroites et resserrées, surtout dans les bateaux, et les effets désastreux, asphyxie, brûlures, etc., que nous venons d'indiquer, seraient d'autant plus rapidement produits que la chambre serait de dimensions plus restreintes.

Si une ouverture de cette dimension se produisait au-dessus du niveau de l'eau dans la chaudière, les effets seraient à peu près les mêmes.

Le poids de vapeur que laisserait écouler par seconde un orifice de 10 cmq serait, en négligeant la contraction (**176**),

$$P = 200 \times 0,001 \times 5,84 = 1^{kil},17.$$

Ce serait un peu plus du tiers de celui que nous venons de calculer dans l'hypothèse que l'ouverture est faite au-dessous du niveau de l'eau, et cette quantité suffirait pour produire en trois minutes les mêmes effets de brûlure et d'asphyxie. La rupture d'un levier de soupape d'une chaudière de bateau a occasionné un tel dégagement de vapeur dans la chambre de la machine qu'elle a causé la mort des personnes qui s'y trouvaient.

EXPLOSIONS.

909. Les explosions des chaudières à vapeur sont des accidents d'une extrême gravité, presque toujours accompagnés de la mort d'un certain nombre de personnes. La chaudière se déchire et parfois même se brise en morceaux en donnant issue à une masse de vapeur et d'eau. Le fourneau est violemment renversé et les débris de la chaudière projetés à de grandes distances et quelquefois par-dessus le faîte de bâtiments très élevés.

Ces accidents désastreux et malheureusement encore trop

fréquents ont été attribués longtemps à des causes exceptionnelles, mystérieuses et le plus souvent au-dessus des prévisions; on les considérait presque toujours comme des cas de force majeure. Mais une étude sérieuse a fait reconnaître que les explosions étaient au contraire presque toujours dues aux causes les plus naturelles, et qu'on aurait pu les éviter avec des soins convenables dans la construction, la surveillance, la conduite et l'entretien.

Une insuffisance de résistance en un point d'une chaudière, par suite d'une mauvaise construction ou d'une altération du métal, peut déterminer une rupture locale qui, à son tour, peut amener une explosion foudroyante.

910. Lorsqu'il y a rupture ou déchirure en un point situé au-dessous du niveau de l'eau, il y a écoulement violent par l'ouverture et il se produit du côté opposé une réaction qui peut être assez forte pour soulever la chaudière à une grande hauteur.

Considérons une chaudière pesant P kilogr. lorsqu'elle est vide, renfermant un poids Q d'eau et fonctionnant à une pression de p tonnes par mètre carré. Admettons qu'une déchirure de section ω se produise brusquement, calculons approximativement la réaction F qui prendra naissance et évaluons la hauteur H à laquelle la chaudière peut être soulevée.

La réaction F est donnée par la relation $F = 2p\omega$, de sorte que pour qu'il y ait soulèvement il faut que

$$2p\omega > P + Q.$$

La vitesse de l'écoulement de l'eau est $v = \sqrt{2gp}$, et pour que tout le poids Q s'écoule il faut, la pression restant constante, un nombre de secondes n tel que

$$n = \frac{Q}{\omega v} = \frac{Q}{\omega\sqrt{2gp}}.$$

Soit V la vitesse que prend la chaudière au moment où la déchirure se produit.

Si la masse soulevée m était constante, on aurait

$$mV = Fn.$$

En réalité, le poids soulevé varie de $P+Q$ à P, la moyenne est donc

$$P+\frac{Q}{2},$$

et la masse

$$\frac{2P+Q}{2g}$$

et on a dans ce cas :

$$\frac{2P+Q}{2}V=2gp\omega\frac{Q}{\omega\sqrt{2gp}}=Q\sqrt{2gp}$$

d'où $V=\frac{2Q}{2P+Q}\sqrt{2gp}$ et $H=\frac{V^2}{2g}=\left(\frac{2Q}{2P+Q}\right)^2 p.$

Si la pression effective est de 5 kilogrammes par centimètre carré, $p=50$ tonnes.

Si on a $Q=6000$ et $P=3000$, on trouve par la deuxième formule

$$\frac{2Q}{2P+Q}=1.$$

$$V=31^m,32 \quad \text{et} \quad H=50^m.$$

Pour que la chaudière se soulève il faut que la section ω satisfasse à l'inégalité

$$\omega>\frac{9000}{100000} \quad \text{ou} \quad \omega>0,09$$

ω doit avoir plus de 9^{dq}, soit $0^m,10\times 0^m,90$.

Dans ce calcul approximatif nous n'avons tenu compte ni du poids de la maçonnerie qui peut s'opposer en partie au soulèvement de la chaudière, ni de la résistance de l'air pendant la projection, etc.

La première rupture qui détermine l'explosion provient dans la grande majorité des cas, soit d'un affaiblissement d'une partie de la chaudière, soit d'un excès de pression; quelquefois, mais rarement, de causes extérieures.

L'affaiblissement d'une partie de la chaudière peut résulter

d'un surchauffement du métal produit par les causes que nous avons énumérées précedemment et surtout par un abaissement du niveau de l'eau par suite d'un défaut d'alimentation.

Il peut aussi résulter des corrosions intérieures ou extérieures, ou bien encore être la conséquence de défauts ou de vices de construction qui s'accentuent sous l'action de la chaleur, comme des pailles qui s'ouvrent, des fentes qui se prolongent, etc.

L'excès de pression provient d'une mauvaise conduite de la chaudière. Trop souvent les chauffeurs ont la déplorable habitude de caler les soupapes de sûreté ; d'autres fois les appareils de sûreté ne sont pas entretenus, les soupapes encrassées sont collées sur leur siège et ne peuvent plus fonctionner ; si de plus le manomètre est inexact, la marche est des plus dangereuses, et on se trouve à chaque instant sous le coup d'une explosion. Le fonctionnement des soupapes de sûreté doit être surveillé avec un soin tout particulier, et on doit s'assurer fréquemment de leur bon état en soulevant légèrement le levier. Il faut aussi vérifier souvent le manomètre.

La catastrophe qui s'est produite en 1887 à la Friedenshütte, en Silésie, où une batterie de vingt-deux chaudières à bouilleurs, chauffées par des gaz de hauts fourneaux, fut totalement détruite, avait d'abord été attribuée à une explosion de gaz dans les carneaux. Après enquête, il a semblé probable que l'accident était dû au mauvais état de ces chaudières, qui avaient été construites avec des tôles de médiocre qualité et qui, malgré d'importantes réparations, n'étaient plus assez solides pour résister aux efforts qu'elles avaient à supporter. L'explosion de l'une d'elles aurait entraîné de proche en proche la destruction et le déplacement des autres.

C'est à une cause semblable qu'on n'a pas hésité à attribuer la catastrophe observée en Écosse en 1863, où neuf chaudières ont éclaté à la suite de la rupture de l'une d'elles.

911. Les explosions proviennent aussi de causes extérieures, mais tout à fait exceptionnellement. On cite la chute de la foudre qui a renversé la cheminée sur la chaudière, l'incendie du bâtiment des générateurs, le choc d'une locomotive déraillée contre

les parois d'un tunnel, l'inflammation subite des gaz dans les carneaux. Cette inflammation peut se produire lorsque le tirage étant peu actif et la houille étant chargée en couche épaisse sur la grille, il se fait un grand dégagement de carbures d'hydrogène qui n'ont pas une température suffisante pour brûler. Si, pour une cause quelconque, une fissure dans la couche par exemple, il se produit un jet de flamme, les gaz carburés détonent et il y a explosion extérieure qui détermine une explosion intérieure par suite de la rupture d'un point faible de la chaudière.

CAUSES DIVERSES D'EXPLOSIONS.

912. On a attribué les explosions à des inflammations soudaines d'hydrogène et d'oxygène accumulés dans l'intérieur de la chaudière et enflammés subitement. On expliquait la présence de l'hydrogène dans la chaudière par un abaissement du niveau de l'eau; la tôle de la chaudière devenant rouge décomposait la vapeur qui était en contact avec elle, l'oxygène formait avec la tôle de l'oxyde de fer et l'hydrogène était mis en liberté. L'oxygène, de son côté, aurait été introduit dans la chaudière par la pompe d'alimentation aspirant dans une bâche sans eau; enfin, sous l'action d'une température élevée, ces deux gaz se seraient combinés en produisant une explosion. Il paraît bien difficile d'admettre la réunion de circonstances aussi extraordinaires.

913. M. Boutigny, qui a fait une étude spéciale des propriétés de l'eau placée sur un corps chauffé au rouge où elle prend un état globulaire, qu'il a désigné sous le nom d'*état sphéroïdal*, a pensé qu'on pouvait expliquer de la manière suivante certaines explosions de chaudières à vapeur. D'après lui, si, par suite d'un abaissement du niveau de l'eau, une portion de la chaudière vient à être découverte et à se surchauffer, il se produit, lorsque le niveau remonte, d'abord l'état sphéroïdal du liquide, puis au moment du contact avec la tôle, et cela d'une manière instantanée, une énorme quantité de vapeur qui, en augmentant la pression, fait éclater la chaudière.

Le même phénomène se produirait encore lorsque des incrus-

tations recouvrant une tôle fortement chauffée viennent à se briser; il y aurait d'abord état sphéroïdal, puis contact brusque de l'eau et du métal, et finalement, production de vapeur en si grande abondance, que la chaudière ne pourrait résister.

Cette explication suppose, au moment du contact, une grande production de vapeur qui ne saurait guère avoir lieu. Les expériences de M. Boutigny ont en effet démontré que le contact de l'eau et du métal ne peut s'établir que lorsque la différence de température entre ces deux corps n'est plus très forte (**664**), de sorte que, même en supposant débarrassées d'incrustations des surfaces considérables, la quantité de chaleur que peut abandonner la tôle, vu sa faible capacité calorifique, est absolument insuffisante pour produire la vapeur nécessaire à une augmentation notable de pression.

914. M. Thomas a donné une autre explication des explosions considérées comme la conséquence d'un abaissement du niveau.

On a remarqué que les explosions se produisaient assez fréquemment après un certain temps d'arrêt, à la reprise du travail des ouvriers, au moment de l'ouverture du robinet de prise de vapeur. Si, pendant un arrêt, le niveau est trop bas dans la chaudière, la paroi de la chambre de vapeur se surchauffe ainsi que la vapeur qui se renouvelle constamment à son contact; la température peut s'élever à 300° ou 400° sans que la pression augmente de plus de 1 à 2 atmosphères. Si, les choses étant dans cet état, c'est-à-dire la chambre de vapeur étant pleine de vapeur surchauffée, on ouvre le robinet de prise, l'ébullition se produit et la vapeur qui se dégage de la surface du liquide entraîne avec elle de l'eau relativement froide qui condense brusquement la vapeur surchauffée. Le vide qui en résulte détermine à son tour une ébullition excessivement tumultueuse, qui soulève avec tant de violence la masse d'eau qu'elle peut amener la rupture et l'explosion de la chaudière.

915. Eau privée d'air ou recouverte d'huile. — On a encore attribué certaines explosions à ce que l'eau de la chaudière était complètement privée d'air par suites d'ébullitions repétées. Nous avons vu en effet (**662**) que dans ce cas l'ébullition pou-

vait ne commencer qu'à une température notablement plus élevée que celle qui correspond à la pression, et dans ces conditions la quantité de chaleur en excès accumulée dans l'eau est employée à produire de la vapeur qui, se dégageant brusquement, soulève toute la masse et peut déterminer une rupture et une explosion.

Un phénomène analogue peut avoir lieu lorsque la surface de l'eau est recouverte d'huile ou de matières graisseuses; l'ébullition est retardée et lorsqu'elle se produit il y a un violent dégagement de vapeur et soulèvement de la masse d'eau, qui peut être suivi d'une rupture.

916. Les explosions se produisent souvent avec des circonstances particulières et donnent lieu à des faits bizarres qu'il n'est pas toujours facile d'expliquer.

D'après les relevés qui ont été faits dans ces dernières années, on peut attribuer ces accidents aux causes suivantes :

Sur 100 explosions,

41 proviennent de l'usure des chaudières, de corrosions intérieures ou extérieures qu'une visite attentive aurait certainement fait découvrir.

11 résultent d'un excès de pression déterminé par le calage ou la surcharge des soupapes de sûreté, soit avec intention, soit par négligence.

31 proviennent de vices de construction, épaisseur insuffisante, mauvaises rivures, fentes au forgeage, défaut d'armatures.

13 résultent de l'abaissement de niveau par défaut d'alimentation, ou de l'accumulation des dépôts sur des parties chauffées, ou encore de l'élévation des carneaux au-dessus du niveau de l'eau, toutes causes qui produisent le surchauffement de la tôle, sa déformation ou sa rupture.

4 enfin proviennent de causes incertaines ou extérieures. Les causes extérieures sont fort rares et n'entrent pas pour plus de 1 p. 100.

En résumé, il résulte de ces nombres que 72 p. 100 des explosions proviennent de vices de construction ou de l'affaiblissement des tôles par des corrosions ou d'autres causes, défauts qu'on aurait pu voir par une visite intérieure et extérieure.

24 p. 100 proviennent de négligence de la part des chauffeurs.

4 p. 100 des explosions proviennent de causes extérieures ou incertaines.

D'après M. Marten, ingénieur en chef de la « Midland Steam Boilers Inspections and assurance C° », association anglaise qui surveille 20 000 générateurs, il s'est produit en Angleterre de 1866 à 1876, c'est-à-dire dans l'espace de dix ans, 642 explosions ayant occasionné la mort de 764 personnes et blessé 1 273 autres.

Ces explosions peuvent être classées comme il suit :

Vices de construction.	242	65,7 p. 100	pouvaient être évitées par des visites intérieures régulières.
Affaiblissement, corrosion intérieure ou extérieure	180		
Manque d'eau, excès de pression. Incrustations	197	30,7 —	auraient pu être évitées en grande partie par une surveillance plus effective et des appareils en meilleur état.
Causes extérieures. . .	4	3,6 —	
Causes inconnues. . . .	19		

Nous donnons ci-dessous un extrait du décret du 30 avril 1880, relatif aux appareils à vapeur, ainsi que du décret complémentaire du 29 juin 1886 ; tous les deux sont actuellement en vigueur.

RAPPORT AU PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE

SUR L'ÉTABLISSEMENT

DES APPAPEILS A VAPEUR.

Lorsqu'en 1865 le Gouvernement revisa le règlement auquel étaient soumises, depuis plus de vingt ans, les machines et chaudières à vapeur autres que celles placées à bord des bateaux, il se proposait de supprimer une partie de la tutelle administrative qui

n'était plus en harmonie avec les progrès de la construction de ces appareils, le développement de leur emploi et l'instruction technique des ouvriers chargés de leur fonctionnement. Son but fut de dégager l'industrie d'entraves devenues inutiles, dans toute la mesure compatible avec les exigences de la sécurité publique. Mais cette mesure ne pouvait être que préjugée; il appartenait à l'expérience seule de la fixer ; et c'est ce qui explique le besoin de réviser à son tour le décret du 25 janvier 1865 et de le remplacer par le nouveau règlement que je viens soumettre à votre haute sanction.

En effet, une enquête qui a été ouverte, à l'expiration de la période décennale, auprès de tous les ingénieurs chargés de la surveillance des appareils à vapeur, a montré l'utilité d'assujettir à des prescriptions administratives les récipients de vapeur, qui en sont complètement exonérés depuis 1865, et d'apporter en outre quelques modifications de détail aux dispositions en vigueur concernant les chaudières proprement dites. Les résultats de cette enquête ont été communiqués à la commission centrale des machines à vapeur et au conseil d'État, qui se sont appliqués à concilier dans une sage mesure les nécessités de la sécurité publique avec les exigences de l'industrie.

Rien n'a été changé aux conditions essentielles de l'épreuve des chaudières neuves; mais le renouvellement de cette épreuve pourra être exigé dans d'autres cas que ceux de réparation notable, seuls admis par le décret de 1865, et ne devra jamais être retardé de plus de dix ans.

Antérieurement à ce décret, les ingénieurs pouvaient provoquer la réforme des chaudières qu'un long service ou une détérioration accidentelle leur faisait regarder comme dangereuses. La commission centrale des machines à vapeur, sans doute préoccupée du rôle amoindri attribué à l'administration depuis 1865, avait exprimé le vœu que la faculté d'interdire l'usage d'un générateur réputé dangereux lui fût restituée. Le conseil d'État n'a point été favorable à ce retour partiel à un régime abandonné; j'ai pensé avec lui qu'une telle mesure, rarement applicable dans la pratique, ne serait pas suffisamment motivée par des faits qu'aurait révélés l'application du décret de 1865.

Le renouvellement obligatoire de l'épreuve tous les dix ans donnera d'ailleurs un nouveau gage à la sécurité publique.

En raison de cette innovation, il a paru convenable d'admettre des motifs de dispense quant aux épreuves réglementaires à exécuter entre temps à la suite des réparations, des déplacements ou des chômages prolongés des chaudières, et de tenir compte, à cet effet,

de l'existence des associations de propriétaires d'appareils à vapeur qui se sont formées depuis quelques années.

Ces associations, employant et rémunérant un personnel spécial, ont en vue d'assurer le meilleur fonctionnement possible des appareils, notamment en procédant à des visites intérieures et extérieures des générateurs de vapeur, en les examinant au double point de vue de la sécurité et de la réalisation d'économies de combustible. Il convient d'encourager ces pratiques salutaires et d'appeler les institutions de ce genre à prêter leur concours à l'administration. Déjà le Gouvernement vient de reconnaître l'utilité publique de l'association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France. Je me propose, en portant le nouveau règlement à la connaissance des préfets et des ingénieurs des mines, de donner des instructions pour que, dans les régions industrielles où fonctionnent de telles associations, la surveillance officielle tienne compte, dans une juste mesure, des constatations faites par le personnel exerçant la surveillance officieuse dont il s'agit. Le renouvellement de l'épreuve réglementaire pourra, en conséquence, ne pas être exigé avant l'expiration de la période décennale, lorsque des renseignements authentiques sur l'époque et les résultats de la dernière visite intérieure et extérieure d'une chaudière constitueront des présomptions suffisantes en faveur de son bon état; et les ingénieurs des mines seront autorisés à considérer, à cet égard, comme probants les certificats délivrés aux membres des associations de propriétaires d'appareils à vapeur par celles de ces associations que le ministre aura désignées.

Le classement des chaudières à demeure continuera à comprendre trois catégories, sous le rapport des conditions d'emplacement, ainsi que le prescrit le décret de 1865. La détermination de ces catégories aura lieu d'après une nouvelle base de calcul, que la commission centrale des machines à vapeur a considérée comme plus rationnelle que la base actuelle, mais qui s'en écarte peu, et dont l'effet est de réduire légèrement, au point de vue du classement, l'importance de la pression maximum sous laquelle une chaudière est appelée à fonctionner, comparativement à son volume.

Les conditions d'emplacement demeureront à très peu près les mêmes qu'aujourd'hui pour les chaudières de la première catégorie, qu'il est permis d'établir à 10 mètres de distance d'une maison d'habitation sans aucune disposition particulière.

Les chaudières de la deuxième catégorie ne peuvent être placées dans l'intérieur des ateliers que lorsque ceux-ci ne font pas partie d'une maison d'habitation. Il n'y aura plus d'exception pour les maisons réservées aux manufacturiers, à leurs familles, à leurs em-

ployés, ouvriers et serviteurs, comme l'admettait le décret de 1865. Le nouveau règlement supprime avec raison, sur ce point, une tolérance contraire à la sécurité publique.

Les chaudières de la troisième catégorie continuent à pouvoir être établies dans une maison quelconque.

La faculté précédemment reconnue aux tiers de renoncer à se prévaloir de conditions réglementaires cessera d'exister ; il a paru à la commission centrale des machines à vapeur et au conseil d'État qu'elles ne pouvaient pas cesser d'être obligatoires, et je partage complètement cet avis.

De même, l'exécution de la disposition relative à la non-production de fumée par les foyers de chaudières à vapeur a paru au conseil d'État de nature à donner lieu à des incertitudes de la part de l'administration et aussi de l'autorité judiciaire. J'ai considéré avec lui que les inconvénients de la fumée ne sont pas particuliers à l'emploi d'un appareil à vapeur, et ne touchent en rien à la sécurité, objet essentiel du décret dont il s'agit. Les contestations auxquelles la production de la fumée donnerait lieu appartiendront donc exclusivement au domaine judiciaire, qu'il s'agisse d'un foyer d'appareil à vapeur ou de tout autre foyer.

La plus importante innovation du nouveau règlement est, sans contredit, l'assujettissement des récipients de vapeur d'une certaine capacité à quelques mesures de sûreté. Omis dans l'ordonnance de 1843, ils avaient été assimilés aux générateurs en vertu d'une circulaire ministérielle de 1845, puis volontairement omis encore dans le décret de 1865. De nombreux accidents sont venus démontrer la nécessité de subordonner l'emploi de ces appareils à l'exécution de certaines prescriptions. En conséquence, la commission centrale des machines à vapeur et le conseil d'État ont été d'avis que les récipients d'un volume supérieur à 100 litres fussent soumis à l'épreuve officielle, munis dans certains cas d'une soupape de sûreté et assujettis à la déclaration. Un délai de six mois sera accordé pour l'exécution de ces mesures.

Elles seront applicables, non seulement aux cylindres sécheurs, chaudières à double fond et appareils divers employés dans l'industrie, mais encore aux machines locomotives sans foyer et aux autres réservoirs dans lesquels est emmagasinée de l'eau à haute température, pour dégager de la vapeur ou de la chaleur.

Enfin, le décret de 1865 n'avait point reproduit la disposition de l'ordonnance de 1843, aux termes de laquelle l'administration avait la faculté de dispenser les chaudières présentant un mode particulier de construction, de l'application d'une partie des mesures de

sûreté réglementaires pour les soumettre à des conditions spéciales.

Il se bornait à prévoir des cas de dispense, en ce qui touche le niveau du plan d'eau dans les générateurs dont la forme ou la faible dimension semblait exclure toute crainte de danger. Dorénavant, le ministre, après instruction locale et sur l'avis de la commission centrale des machines à vapeur, pourra accorder toute dispense qui ne paraîtra pas de nature à entraîner des inconvénients.

Telles sont les principales modifications du règlement de 1865, concernant les chaudières à vapeur fixes ou locomobiles, les locomotives et les récipients, qui me paraissent devoir être adoptés dans l'intérêt commun des industriels et du public.

DÉCRET DU 30 AVRIL 1880

Relatif aux appareils à vapeur autres que ceux qui sont placés à bord des bateaux.

ART. 1er. — Sont soumis aux formalités et aux mesures prescrites par le présent règlement : 1° les générateurs de vapeur autres que ceux qui sont placés à bord des bateaux ; 2° les récipients définis ci-après (Titre V).

TITRE Ier

MESURES DE SURETÉ RELATIVES AUX CHAUDIÈRES PLACÉES A DEMEURE.

ART. 2. — Aucune chaudière neuve ne peut être mise en service qu'après avoir subi l'épreuve réglementaire ci-après définie. Cette épreuve doit être faite chez le constructeur et sur sa demande.

Toute chaudière venant de l'étranger est éprouvée, avant sa mise en service, sur le point du territoire français désigné par le destinataire dans sa demande.

ART. 3. — Le renouvellement de l'épreuve peut être exigé de celui qui fait usage d'une chaudière :

1° Lorsque la chaudière, ayant déjà servi, est l'objet d'une nouvelle installation ;

2° Lorsqu'elle a subi une réparation notable ;

3° Lorsqu'elle est remise en service après un chômage prolongé.

A cet effet, l'intéressé devra informer l'ingénieur des mines de ces diverses circonstances. En particulier, si l'épreuve exige la démolition du massif du fourneau ou l'enlèvement de l'enveloppe de la chaudière et un chômage plus ou moins prolongé, cette épreuve pourra ne point être exigée, lorsque des renseignements authentiques sur l'époque et les résultats de la dernière visite, intérieure et extérieure, constitueront une présomption suffisante en faveur du bon état de la chaudière. Pourront être notamment considérés comme renseignements probants les certificats délivrés aux membres des associations de propriétaires d'appareils à vapeur par celle de ces associations que le ministre aura désignée.

Le renouvellement de l'épreuve est exigible également lorsque, à raison des conditions dans lesquelles une chaudière fonctionne, il y a lieu, par l'ingénieur des mines, d'en suspecter la solidité.

Dans tous les cas, lorsque celui qui fait usage d'une chaudière contestera la nécessité d'une nouvelle épreuve, il sera, après une instruction où celui-ci sera entendu, statué par le préfet.

En aucun cas, l'intervalle entre deux épreuves consécutives n'est supérieur à dix années. Avant l'expiration de ce délai, celui qui fait usage d'une chaudière à vapeur doit lui-même demander le renouvellement de l'épreuve.

Art. 4. — L'épreuve consiste à soumettre la chaudière à une pression hydraulique supérieure à la pression effective qui ne doit point être dépassée dans le service. Cette pression d'épreuve sera maintenue pendant le temps nécessaire à l'examen de la chaudière dont toutes les parties doivent pouvoir être visitées.

La surcharge d'épreuve par centimètre carré est égale à la pression effective, sans jamais être inférieure à un demi-kilogramme ni supérieure à 6 kilogrammes.

L'épreuve est faite sous la direction de l'ingénieur des mines et en sa présence, ou, en cas d'empêchement, en présence du garde-mine opérant d'après ses instructions.

Elle n'est pas exigée pour l'ensemble d'une chaudière dont les diverses parties éprouvées séparément ne doivent être réunies que par des tuyaux placés sur tout leur parcours, en dehors du foyer et des conduits de flamme, et dont les joints peuvent être facilement démontés.

Le chef de l'établissement où se fait l'épreuve fournit la main-d'œuvre et les appareils nécessaires à l'opération.

Art. 5. — Après qu'une chaudière ou partie de chaudière a été éprouvée avec succès, il y est apposé un timbre indiquant en kilogrammes par centimètre carré, la pression effective que la vapeur ne doit pas dépasser.

Les timbres sont poinçonnés et reçoivent trois nombres indiquant le jour, le mois et l'année de l'épreuve.

Un de ces timbres est placé de manière à être toujours apparent après la mise en place de la chaudière.

ART. 6. — Chaque chaudière est munie de deux soupapes de sûreté, chargées de manière à laisser la vapeur s'écouler dès que sa pression effective atteint la limite maximum indiquée par le timbre réglementaire.

L'orifice de chacune des soupapes doit suffire à maintenir, celle-ci étant au besoin convenablement déchargée ou soulevée et quelle que soit l'activité du feu, la vapeur dans la chaudière à un degré de pression qui n'excède, pour aucun cas, la limite ci-dessus.

Le constructeur est libre de répartir, s'il le préfère, la section totale d'écoulement nécessaire des deux soupapes réglementaires entre un plus grand nombre de soupapes.

ART. 7. — Toute chaudière est munie d'un manomètre en bon état placé en vue du chauffeur et gradué de manière à indiquer, en kilogrammes, la pression effective de la vapeur dans la chaudière.

Une marque très apparente indique sur l'échelle du manomètre la limite que la pression effective ne doit point dépasser.

La chaudière est munie d'un ajustage terminé par une bride de $0^m,04$ de diamètre et $0^m,005$ d'épaisseur, disposée pour recevoir le manomètre vérificateur.

ART. 8. — Chaque chaudière est munie d'un appareil de retenue, soupape ou clapet, fonctionnant automatiquement et placé au point d'insertion du tuyau d'alimentation qui lui est propre.

ART. 9. — Chaque chaudière est munie d'une soupape ou d'un robinet d'arrêt de vapeur, placé autant que possible à l'origine du tuyau de conduite de vapeur, sur la chaudière même.

ART. 10. — Toute paroi en contact par une de ses faces avec la flamme doit être baignée par l'eau sur sa face opposée.

Le niveau de l'eau doit être maintenu, dans chaque chaudière, à une hauteur de marche telle qu'il soit, en toute circonstance, à $0^m,06$ au moins au-dessus du plan pour lequel la condition précédente cesserait d'être remplie. La position limite sera indiquée, d'une manière très apparente, au voisinage du tube de niveau mentionné à l'article suivant.

Les prescriptions énoncées au présent article ne s'appliquent point :

1° Aux surchauffeurs de vapeur distincts de la chaudière;

2° A des surfaces relativement peu étendues et placées de manière à ne jamais rougir, même lorsque le feu est poussé à son

maximum d'activité, telles que les tubes ou parties de cheminées qui traversent le réservoir de vapeur, en envoyant directement à la cheminée principale les produits de la combustion.

ART. 11. — Chaque chaudière est munie de deux appareils indicateurs du niveau de l'eau, indépendants l'un de l'autre et placés en vue de l'ouvrier chargé de l'alimentation.

L'un de ces deux indicateurs est un tube en verre, disposé de manière à pouvoir être facilement nettoyé et remplacé au besoin.

Pour les chaudières verticales de grande hauteur, le tube en verre est remplacé par un appareil disposé de manière à reporter, en vue de l'ouvrier chargé de l'alimentation, l'indication du niveau de l'eau dans la chaudière.

TITRE II

ÉTABLISSEMENT DES CHAUDIÈRES A VAPEUR PLACÉES A DEMEURE.

ART. 12. — Toute chaudière à vapeur destinée à être employée à demeure ne peut être mise en service qu'après une déclaration adressée, par celui qui fait usage du générateur, au préfet du département. Cette déclaration est enregistrée à sa date. Il en est donné acte. Elle est communiquée sans délai à l'ingénieur en chef des mines.

ART. 13. — La déclaration fait connaître avec précision :

1° Le nom et le domicile du vendeur de la chaudière ou l'origine de celle-ci ;

2° La commune et le lieu où elle est établie;

3° La forme, la capacité et la surface de chauffe;

4° Le numéro du timbre réglementaire;

5° Un numéro distinctif de la chaudière, si l'établissement en possède plusieurs;

6° Enfin, le genre d'industrie et l'usage auquel elle est destinée.

ART. 14. — Les chaudières sont divisées en trois catégories.

Cette classification est basée sur le produit de la multiplication du nombre exprimant en mètres cubes la capacité totale de la chaudière (avec ses bouilleurs et ses réchauffeurs alimentaires, mais sans y comprendre les surchauffeurs de vapeur) par le nombre exprimant, en degrés centigrades, l'excès de la température de l'eau correspondant à la pression indiquée par le timbre réglementaire sur la température de 100 degrés, conformément à la table annexée au présent décret.

Si plusieurs chaudières doivent fonctionner ensemble dans un même emplacement et si elles ont entre elles une communication

quelconque, directe ou indirecte, on prend, pour former le produit, comme il vient d'être dit, la somme des capacités de ces chaudières.

Les chaudières sont de la première catégorie quand le produit est plus grand que 200; de la deuxième, quand le produit n'excède pas 200, mais surpasse 50; de la troisième, si le produit n'excède pas 50.

Art. 15. — Les chaudières comprises dans la première catégorie doivent être établies en dehors de toute maison d'habitation et de tout atelier surmonté d'étages. N'est pas considérée comme un étage, au-dessus de l'emplacement d'une chaudière, une construction dans laquelle ne se fait aucun travail nécessitant la présence d'un personnel à poste fixe.

Art. 16. — Il est interdit de placer une chaudière de première catégorie à moins de 3 mètres d'une maison d'habitation.

Lorsqu'une chaudière de première catégorie est placée à moins de 10 mètres d'une maison d'habitation, elle en est séparée par un mur de défense.

Ce mur, en bonne et solide maçonnerie, est construit de manière à défiler la maison par rapport à tout point de la chaudière distant de moins de 10 mètres, sans toutefois que sa hauteur dépasse de 1 mètre la partie la plus élevée de la chaudière. Son épaisseur est égale au tiers au moins de sa hauteur, sans que cette épaisseur puisse être inférieure à 1 mètre en couronne. Il est séparé du mur de la maison voisine par un intervalle libre de 30 centimètres de largeur au moins.

L'établissement d'une chaudière de première catégorie à la distance de 10 mètres au plus d'une maison d'habitation n'est assujetti à aucune condition particulière.

Les distances de 3 mètres et de 10 mètres, fixées ci-dessus, sont réduites respectivement à $1^m,50$ et à 5 mètres, lorsque la chaudière est enterrée de façon que la partie supérieure de ladite chaudière se trouve à 1 mètre en contre-bas du sol du côté de la maison voisine.

Art. 17. — Les chaudières comprises dans la deuxième catégorie peuvent être placées dans l'intérieur de tout atelier, pourvu que l'atelier ne fasse pas partie d'une maison d'habitation.

Les foyers sont séparés des murs des maisons voisines par un intervalle libre de 1 mètre au moins.

Art. 18. — Les chaudières de troisième catégorie peuvent être établies dans un atelier quelconque, même lorsqu'il fait partie d'une maison d'habitation.

Les foyers sont séparés des murs des maisons voisines par un intervalle libre de $0^m,50$ au moins.

ART. 19. — Les conditions d'emplacement prescrites pour les chaudières à demeure, par les précédents articles, ne sont pas applicables aux chaudières pour l'établissement desquelles il aura été satisfait au décret du 25 janvier 1865, antérieurement à la promulgation du présent règlement.

ART. 20. — Si, postérieurement à l'établissement d'une chaudière, un terrain contigu vient à être affecté à la construction d'une maison d'habitation, celui qui fait usage de la chaudière devra se conformer aux mesures prescrites par les articles 16, 17 et 18, comme si la maison eût été construite avant l'établissement de la chaudière.

ART. 21. — Indépendamment des mesures générales de sûreté prescrites au titre Ier de la déclaration prévue par les articles 12 et 13, les chaudières à vapeur fonctionnant dans l'intérieur des mines sont soumises aux conditions que pourra prescrire le préfet, suivant les cas et sur le rapport de l'ingénieur des mines.

TITRE III

CHAUDIÈRES LOCOMOBILES.

ART. 22. — Sont considérées comme locomobiles les chaudières à vapeur qui peuvent être transportées facilement d'un lieu dans un autre, n'exigent aucune construction pour fonctionner sur un point donné et ne sont employées que d'une manière temporaire à chaque station.

ART. 23. — Les dispositions des articles 2 à 11 inclusivement du présent décret sont applicables aux chaudières locomobiles.

ART. 24. — Chaque chaudière porte une plaque sur laquelle sont gravés, en caractères très apparents, le nom et le domicile du propriétaire et un numéro d'ordre, si ce propriétaire possède plusieurs chaudières locomobiles.

ART. 25. — Elle est l'objet de la déclaration prescrite par les articles 12 et 13. Cette déclaration est adressée au préfet du département où est le domicile du propriétaire.

L'ouvrier chargé de la conduite devra représenter à toute réquisition le récépissé de cette déclaration.

TITRE IV

CHAUDIÈRES DES MACHINES LOCOMOTIVES.

ART. 26. — Les machines à vapeur locomotives sont celles qui,

sur terre, travaillent en même temps qu'elles se déplacent par leur propre force, telles que les machines des chemins de fer et des tramways, les machines routières, les rouleaux compresseurs, etc.

ART. 27. — Les dispositions des articles 2 à 8 inclusivement et celles des articles 11 et 24 sont applicables aux chaudières des machines locomotives.

ART. 28. — Les dispositions de l'article 25, paragraphe 1er, s'appliquent également à ces chaudières.

ART. 29. — La circulation des machines locomotives a lieu dans les conditions déterminées par des règlements spéciaux

TITRE V

RÉCIPIENTS.

ART. 30. — Sont soumis aux dispositions suivantes les récipients de formes diverses, d'une capacité de plus de 100 litres, au moyen desquels les matières à élaborer sont chauffées, non directement à feu nu, mais par de la vapeur empruntée à un générateur distinct, lorsque leur communication avec l'atmosphère n'est point établie par des moyens excluant toute pression effective nettement appréciable.

ART. 31. — Ces récipients sont assujettis à la déclaration prescrite par les articles 12 et 13.

Ils sont soumis à l'épreuve, conformément aux articles 2, 3, 4 et 5. Toutefois, la surcharge d'épreuve sera, dans tous les cas, égale à la moitié de la pression maximum à laquelle l'appareil doit fonctionner, sans que cette surcharge puisse excéder 4 kilogrammes par centimètre carré.

ART. 32. — Ces récipients sont munis d'une soupape de sûreté réglée pour la pression indiquée par le timbre, à moins que cette pression ne soit égale ou supérieure à celle fixée pour la chaudière alimentaire.

L'orifice de cette soupape, convenablement déchargée ou soulevée au besoin, doit suffire à maintenir, pour tous les cas, la vapeur dans le récipient à un degré de pression qui n'excède pas la limite du timbre.

Elle peut être placée, soit sur le récipient lui-même, soit sur le tuyau d'arrivée de la vapeur, entre le robinet et le récipient.

ART. 33. — Les dispositions des articles 30, 31 et 32 s'appliquent également aux réservoirs dans lesquels de l'eau à haute température est emmagasinée, pour fournir ensuite un dégagement de vapeur ou de chaleur, quel qu'en soit l'usage.

Art. 34. — Un délai de six mois, à partir de la promulgation du présent décret, est accordé pour l'exécution des quatre articles qui précèdent.

TITRE VI

DISPOSITIONS GÉNÉRALES

Art. 35. — Le ministre peut, sur le rapport des ingénieurs des mines, l'avis du préfet et celui de la commission centrale des machines à vapeur, accorder dispense de tout ou partie des prescriptions du présent décret, dans tous les cas où, à raison de la forme, soit de la faible dimension des appareils, soit de la position spéciale des pièces contenant de la vapeur, il serait reconnu que la dispense ne peut pas avoir d'inconvénient.

Art. 36. — Ceux qui font usage de générateurs ou de récipients de vapeur veilleront à ce que ces appareils soient entretenus constamment en bon état de service.

A cet effet, ils tiendront la main à ce que des visites complètes, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, soient faites à des intervalles rapprochés pour constater l'état des appareils et assurer l'exécution, en temps utile, des réparations ou remplacements nécessaires.

Ils devront informer les ingénieurs des réparations notables faites aux chaudières et aux récipients, en vue de l'exécution des articles 3 (1°, 2° et 3°) et 31, § 2.

Art. 37. — Les contraventions au présent règlement sont constatées, poursuivies et réprimées conformément aux lois.

Art. 38. — En cas d'accident ayant occasionné la mort ou des blessures, le chef de l'établissement doit prévenir immédiatement l'autorité chargée de la police locale et l'ingénieur des mines chargé de la surveillance. L'ingénieur se rend sur les lieux, dans le plus bref délai, pour visiter les appareils, en constater l'état et rechercher les causes de l'accident. Il rédige sur le tout :

1° Un rapport, qu'il adresse au procureur de la République et dont une expédition est transmise à l'ingénieur en chef, qui fait parvenir son avis à ce magistrat;

2° Un rapport, qui est adressé au préfet, par l'intermédiaire et avec l'avis de l'ingénieur en chef.

En cas d'accident n'ayant occasionné ni mort ni blessures, l'ingénieur des mines seul est prévenu; il rédige un rapport qu'il envoie, par l'intermédiaire et avec l'avis de l'ingénieur en chef, au préfet.

En cas d'explosion, les constructions ne doivent point être réparées et les fragments de l'appareil rompu ne doivent point être

déplacés ou dénaturés avant la constatation de l'état des lieux par l'ingénieur.

ART. 39. — Par exception, le ministre pourra confier la surveillance des appareils à vapeur aux ingénieurs ordinaires et aux conducteurs des ponts et chaussées, sous les ordres de l'ingénieur en chef des mines de la circonscription.

ART. 40. — Les appareils à vapeur qui dépendent des services spéciaux de l'État sont surveillés par les fonctionnaires et agents de ces services.

ART. 41. — Les attributions conférées aux préfets des départements par le présent décret sont exercées par le préfet de police dans toute l'étendue de son ressort.

ART. 42. — Est rapporté le décret du 25 janvier 1865.

Table donnant la température (en degrés centigrades) de l'eau correspondant à une pression donnée (en kilogrammes effectifs).

VALEURS CORRESPONDANTES		VALEURS CORRESPONDANTES	
de la pression effective EN KILOGRAMMES.	de la température EN DEGRÉS CENTIGR.	de la pression effective EN KILOGRAMMES.	de la température EN DEGRÉS CENTIGR.
0,5	111	10,5	185
1,0	120	11,0	187
1,5	127	11,5	189
2,0	133	12,0	191
2,5	138	12,5	193
3,0	143	13,0	194
3,5	147	13,5	196
4,0	151	14,0	197
4,5	155	14,5	199
5,0	158	15,0	200
5,5	161	15,5	202
6,0	164	16,0	203
6,5	167	16,5	205
7,0	170	17,0	206
7,5	173	17,5	208
8,0	175	18,0	209
8,5	177	18,5	210
9,0	179	19,0	211
9,5	181	19,5	213
10,0	183	20,0	214

DÉCRET DU 29 JUIN 1886.

ART. 1er. — Lorsque plusieurs générateurs de vapeur, placés à demeure, sont groupés sur une conduite générale de vapeur en nombre tel que le produit, formé comme il est dit à l'article 14 du décret du 30 avril 1880, en prenant comme base du calcul le timbre réglementaire le plus élevé, dépasse le nombre 1800, lesdits générateurs sont répartis par séries correspondant chacune à un produit au plus égal à ce nombre ; chaque série est munie d'un clapet automatique d'arrêt, disposé de façon à éviter, en cas d'explosion, le déversement de la vapeur des séries restées intactes.

ART. 2. — Lorsqu'un générateur de première catégorie est chauffé par les flammes perdues d'un ou plusieurs fours métallurgiques, tout le courant des gaz chauds doit, en arrivant au contact des tôles, être dirigé tangentiellement aux parois de la chaudière.

A cet effet, si les rampants destinés à amener les flammes ne sont pas construits de façon à assurer ce résultat, les tôles exposées aux coups de feu sont protégées, en face des débouchés des rampants dans les carneaux, par des murettes en matériaux réfractaires, distantes des tôles d'au moins 50 millimètres, et suffisamment étendues dans tous les sens pour que les courants de gaz chauds prennent des directions sensiblement tangentielles aux surfaces des tôles voisines, avant de les toucher.

ART. 3. — Les dispositions de l'article 35 du décret du 30 avril 1880 sont applicables aux prescriptions du présent règlement.

917. On trouvera, dans le tableau ci-après, les différentes valeurs de la capacité maxima que peuvent, selon la pression, présenter les chaudières ou groupes de chaudières, pour rester en troisième ou en deuxième catégorie, et aussi, pour les groupes de chaudières en première catégorie, la capacité maxima à partir de laquelle l'emploi du clapet de retenue de vapeur devient obligatoire.

Les figures 505 et 506 fournissent, au moyen de courbes, les mêmes indications. On a porté en abscisses (fig. 505) les pressions effectives en kilogrammes et en ordonnées les volumes en mètres cubes ; la courbe inférieure, celle qui se rapproche le plus de la ligne des abscisses, correspond au produit 50, caractéristique de la troisième catégorie ; la seconde correspond au produit 200.

Pour une pression donnée, une chaudière sera : de troisième catégorie si l'extrémité de l'ordonnée représentant sa capacité est au-dessous de la courbe inférieure; de deuxième catégorie

VALEURS CORRESPONDANTES				VALEURS CORRESPONDANTES			
DE LA PRESSION EFFECTIVE EN KILOGR. PAR C. m^2.	DE LA CAPACITÉ MAXIMA EN m^3 DES CHAUDIÈRES			DE LA PRESSION EFFECTIVE EN KILOGR. PAR C. m^2.	DE LA CAPACITÉ MAXIMA EN m^3 DES CHAUDIÈRES		
	de troisième catégorie.	de deuxième catégorie.	groupées, pour l'ensemble desquelles l'emploi du clapet de retenue de vapeur n'est pas exigé.		de troisième catégorie.	de deuxième catégorie.	groupées, pour l'ensemble desquelles l'emploi du clapet de retenue de vapeur n'est pas exigé.
0,5	4,545	18,181	163,636	10,5	0,588	2,352	21,176
1,0	2,500	10,000	90,000	11,0	0,574	2,298	20,689
1,5	1,851	7,407	66,666	11,5	0,561	2,247	20,224
2,0	1,515	6,060	54,545	12,0	0,549	2,197	19,780
2,5	1,315	5,263	47,368	12,5	0,537	2,150	19,354
3,0	1,162	4,651	41,860	13,0	0,531	2,128	19,148
3,5	1,063	4,255	38,298	13,5	0,520	2,083	18,750
4,0	0.980	3,921	35,294	14,0	0,515	2,061	18,556
4,5	0,909	3,636	32,727	14,5	0,505	2,020	18,181
5,0	0,862	3,448	31,034	15,0	0,500	2,000	18,000
5,5	0,819	3,278	29,508	15,5	0,490	1,960	17,647
6,0	0,781	3,125	28,125	16,0	0,485	1,941	17,475
6,5	0,746	2,985	26,865	16,5	0,476	1,904	17,142
7,0	0,714	2,857	25,714	17,0	0,471	1,186	16,981
7,5	0,684	2,739	24,657	17,5	0,462	1,851	16,666
8,0	0,666	2,666	24,000	18,0	0,458	1,834	16,513
8,5	0,649	2,597	23,376	18,5	0,454	1,818	16,363
9,0	0,632	2,531	22,784	19,0	0,450	1,801	16,216
9,5	0,617	2,469	22,222	19,5	0,442	1,769	15,929
10,0	0,602	2,409	21,686	20,0	0,438	1,754	15,789

si elle est comprise entre les deux courbes; de première catégorie si elle est au-dessus de la seconde.

On a tracé (fig. 505) deux autres lignes donnant, aux pressions usuelles, l'une la température d'ébullition de l'eau et l'autre le poids en kilogrammes du mètre cube de vapeur.

La figure 506 indique de même, pour une pression et un vo-

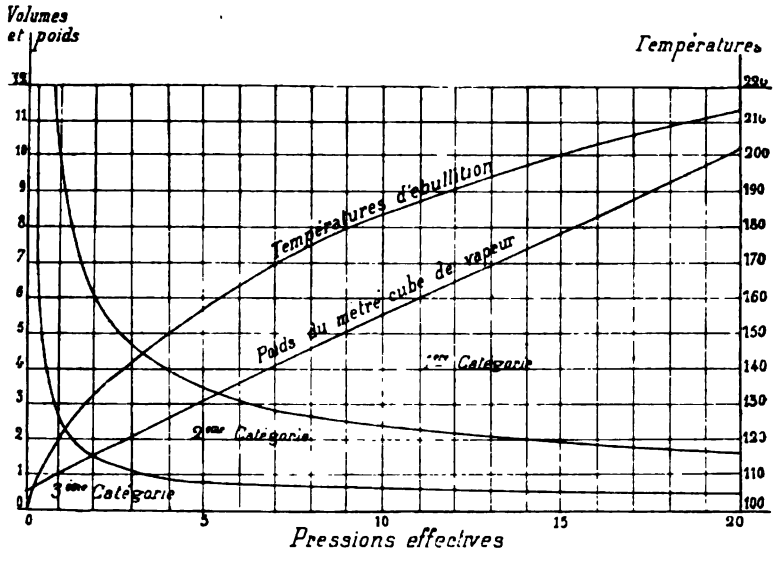


Fig 505

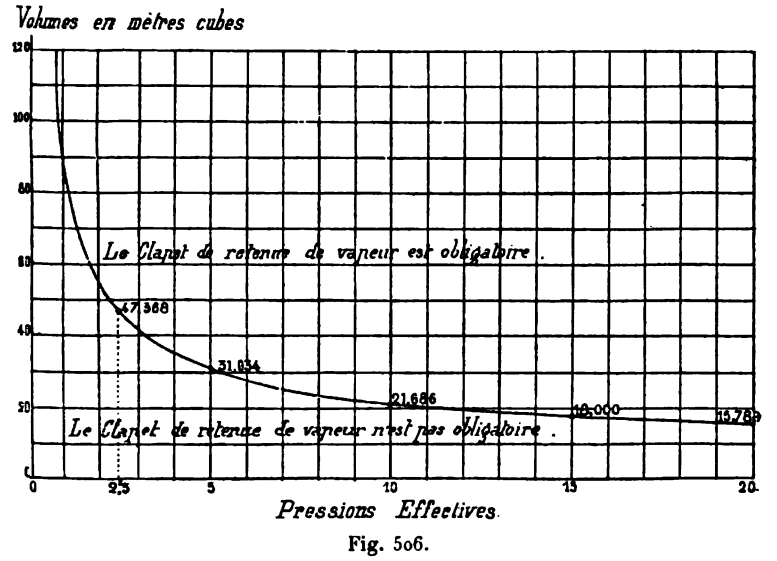


Fig. 506.

lume donnés, si un groupe de chaudières en première catégorie doit être pourvu d'un clapet de retenue de vapeur.

§ XIII

TRANSPORT DE LA VAPEUR

DISPOSITIONS GÉNÉRALES DES CONDUITES DE VAPEUR.

918. La vapeur est d'un usage général dans l'industrie comme force motrice et comme source de chaleur. Un des principaux avantages de son emploi consiste dans la facilité avec laquelle on peut la transporter à de grandes distances sans pertes trop considérables, ce qui permet, pour les besoins d'un vaste établissement, de concentrer en un seul point le service des foyers.

On se sert, pour transporter la vapeur, de tuyaux métalliques dont les dimensions et les dispositions doivent être étudiées avec soin. Ces canalisations sont ordinairement établies en cuivre ou en fer.

On emploie généralement les tuyaux en cuivre rouge ou en fer étiré pour distribuer la vapeur sous pression; ces tuyaux se cintrent avec assez de facilité et on leur donne sur place les formes et courbures nécessitées par la disposition des lieux.

On emploie quelquefois les tuyaux en fonte lorsqu'il s'agit de vapeur d'échappement. Ils sont d'un emploi moins commode que les tuyaux précédents, parce qu'ils nécessitent des pièces spéciales pour les coudes et tubulures.

Les tuyaux se font par bouts de longueur variable : 4 à 5 mètres pour le cuivre et le fer, 2 à 3 mètres pour la fonte. Ils sont assemblés entre eux par des joints qu'il convient de disposer de telle sorte que l'intérieur du tuyau reste toujours complètement dégagé. Le joint à brides est le plus communément employé ; l'étanchéité s'obtient par l'interposition soit de mastic de minium, soit d'une rondelle de caoutchouc, d'amiante ou même d'amiante caoutchouté. Elle peut d'ailleurs être produite par le contact direct de deux surfaces métalliques, comme nous l'avons vu dans la chaudière de Naeyer, ou bien à l'aide de

la disposition bien connue qui consiste à creuser deux rainures circulaires identiques dans les faces correspondantes des brides et à intercaler une bague en cuivre rouge dont les extrémités pénètrent dans les rainures et sur lesquelles on opère le serrage. Dans certains cas on emploie des raccords en bronze, soudés à la brasure forte sur les tuyaux et on opère le rapprochement au moyen de parties vissées. Les tuyaux en fer sont fréquemment réunis à l'aide de manchons taraudés et de contre-écrous.

Il existe beaucoup d'autres dispositions de joints, mais leur description ne saurait rentrer dans le cadre de cet ouvrage.

Le diamètre des canalisations de vapeur doit être déterminé avec soin. Lorsqu'on le choisit trop grand, on augmente les frais d'installation et on accroît inutilement les surfaces de refroidissement et par suite les condensations. Si on le prend trop petit, il faut accroître la vitesse de circulation de la vapeur ; il en résulte une augmentation des pertes de charge dues au frottement et on est alors forcé de maintenir dans la chaudière une pression quelquefois très supérieure à celle dont on a besoin à l'extrémité des conduites.

Les vitesses généralement admises sont comprises entre 10 et 25 mètres. On adopte fréquemment vingt mètres.

Afin de réduire le plus possible les condensations, il est important d'envelopper les tuyaux de vapeur de corps mauvais conducteurs, tels que l'ouate minérale, le liège, la paille, etc.

Un tuyau nu exposé à l'air peut condenser par heure et par mètre carré jusqu'à 4 et 5 kilogrammes de vapeur. Par l'emploi d'enveloppes convenables, on peut réduire cette condensation à 1 kilogramme et même à 0,50 kilogramme. L'économie qui en résulte est considérable et de plus la chute de pression due aux condensations est notablement diminuée. Nous avons déjà donné au n° **100** des renseignements comparatifs sur différentes enveloppes isolantes fréquemment employées.

919. Les conduites de vapeur étant soumises à des écarts de température considérables, selon qu'elles sont ou ne sont pas en service, il est absolument nécessaire de prévoir des dispositions spéciales, pour permettre la dilatation des tuyaux.

Les chiffres qui suivent feront comprendre l'importance de cette considération. En effet, le coefficient de dilatation linéaire du cuivre est 0,000017 et celui du fer 0,000012; par suite, une conduite en cuivre de 100 mètres de longueur chauffée de 0° à 100° par le passage de la vapeur se dilate de

$$0,000017 \times 100 \times 100 = 0^{m},17$$

et si aucune précaution n'était prise pour permettre cette dilatation, il y aurait certainement rupture en quelque point.

Lorsque les conduites font des coudes assez nombreux et rapprochés, l'élasticité du métal suffit généralement pour permettre un léger mouvement et il n'est besoin d'aucune disposition spéciale. Mais lorsqu'il se présente des parties en ligne droite d'une grande longueur, il n'en est plus de même. On recourt alors à un moyen simple et très efficace qui consiste soit à cintrer légèrement tous les tuyaux, soit à intercaler en différents points convenablement espacés des parties cintrées qui, grâce à leur élasticité, se déforment et permettent l'allongement du reste de la conduite. Ces tuyaux cintrés doivent être établis suivant la pente générale de la conduite pour que l'eau condensée s'écoule naturellement, mais si, par suite d'exigences locales, on était forcé de créer des points bas, il serait indispensable d'y placer des purgeurs automatiques ou des robinets de purge qu'on ouvrirait de temps en temps; mais l'emploi des robinets crée une complication qu'il faut éviter autant que possible.

Pour que le tuyau puisse se déformer sans que son élasticité soit altérée, il faut que les rayons des courbes soient assez grands et proportionnés au diamètre de la conduite; aussi ne trouve-t-on pas toujours la place nécessaire pour placer ces courbes. Il faut alors établir des compensateurs de dilatation. On a souvent employé dans ce but des appareils (fig. 507) composés de deux tuyaux dont l'un, renflé sur une partie de sa longueur, est muni d'un presse-étoupe dans lequel passe et peut glisser l'extrémité tournée de l'autre tuyau. Cette extrémité est généralement en bronze, ou tout au moins garnie d'un fourreau en bronze afin d'éviter que la rouille ne vienne coller ensemble les parties mo-

biles et paralyser le fonctionnement de l'appareil. Dans certains cas, on prend des dispositions spéciales pour limiter le déplacement relatif des tuyaux, empêcher leur déboîtement et reporter la dilatation sur les divers compensateurs d'une même canalisation.

Malgré les précautions prises dans leur construction et leur installation, les appareils de compensation à glissement ne fonctionnent presque jamais bien. Nous pensons qu'on doit leur préférer, quoiqu'ils soient un peu plus encombrants, les compensateurs à rotules dont les diverses parties sont réunies à l'aide

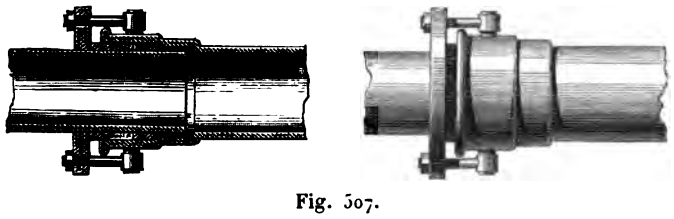


Fig. 507.

d'articulations analogues à celles des tuyaux branchés sur les gazomètres dans les usines à gaz.

On a aussi utilisé comme compensateurs des disques en tôle emboutie dont le nombre dépend de la longueur de la conduite et réunies de manière à former une série de chambres lenticulaires dont les parois se déforment sous l'action de la dilatation ; on a généralement renoncé à employer ces appareils, car leur rupture a donné lieu à des épanchements de vapeur qui ont occasionné des brûlures graves et déterminé des accidents.

RETOUR D'EAU CONDENSÉE.

920. Dans certains cas, pour les machines sans condensation par exemple, on abandonne dans l'atmosphère la vapeur qui vient d'agir, et la quantité de chaleur considérable qu'elle renferme encore est ainsi complètement perdue. On conçoit qu'il y a intérêt, lorsqu'on le peut, à condenser cette vapeur et à la recueillir pour la faire servir à l'alimentation de la chaudière. On y trouve le double avantage d'utiliser de la chaleur qui serait

perdue et d'employer à l'alimentation une eau qui ne produit pas d'incrustations.

Ainsi, lorsqu'on fait usage d'appareils chauffés par la vapeur, on recueille toujours les eaux de condensation et on les renvoie aux chaudières. Le retour de l'eau condensée à la chaudière peut se faire de deux manières :

1° Par retour direct; l'eau revenant directement dans la chaudière sous l'action de la pesanteur.

2° Par retour indirect; l'eau s'écoulant d'abord dans un récipient où on la puise avec un appareil d'alimentation pour la refouler dans la chaudière.

Bien que plus compliqué, ce dernier système présente, comme nous le verrons, des avantages qui le font généralement préférer.

CHAUFFAGE PAR LA VAPEUR AVEC RETOUR DIRECT.

921. La figure 508 représente la disposition générale d'un chauffage par la vapeur avec retour direct. La vapeur produite dans la chaudière A s'élève verticalement dans la colonne montante AB et se distribue par le tuyau BC dans les appareils PP'P'' au moyen de branchements munis de robinets; elle se condense alors au contact des parois à chauffer et l'eau provenant de cette condensation gagne la conduite DEF qui débouche au bas de la chaudière.

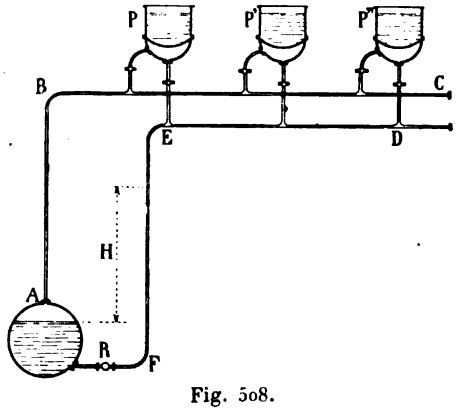


Fig. 508.

A cause des condensations et des pertes de charge dues surtout au frottement, la pression dans les appareils est plus faible que celle existant dans la chaudière; aussi le liquide s'élève-t-il dans le tuyau EF; mais on conçoit que, si les appareils sont

placés à une hauteur suffisamment grande au-dessus de la chaudière, le poids de la colonne de liquide contenue dans le tuyau EF s'ajoutant à la pression qui s'exerce dans les appareils permette de faire rentrer directement l'eau dans le générateur sans qu'il soit nécessaire de recourir à une pompe d'alimentation.

Au moment de la mise en marche, la condensation brusque de la vapeur dans les appareils encore froids peut y produire un abaissement de la pression tel qu'il en résulte une aspiration qui ferait monter l'eau de la chaudière dans le tuyau de retour, s'il n'y avait pas le clapet de retenue R.

Des mouvements anormaux peuvent également se produire entre des appareils voisins déversant leur eau de condensation dans le même tuyau de retour; de même, si l'on cesse d'envoyer de la vapeur dans l'un d'eux, la pression baisse dans ce dernier et il tend à se remplir de l'eau de condensation provenant des autres; il faut, pour parer à cet inconvénient, disposer également un clapet de retenue à la sortie de chaque appareil.

En résumé, on peut dire qu'en général, lorsqu'on emploie dans une installation la disposition avec retour direct, la force motrice dont on dispose pour faire circuler la vapeur et l'eau est faible et que le mouvement normal peut être facilement troublé. C'est ce qui fait que cette disposition est rarement adoptée malgré sa grande simplicité apparente.

CHAUFFAGE A VAPEUR AVEC RETOUR INDIRECT.

922. La disposition générale d'un chauffage à vapeur avec retour indirect est représentée figure 509. La vapeur se rend aux appareils PP'P″ qu'elle chauffe et l'eau de condensation s'écoule dans une conduite générale comme dans le cas du retour direct; seulement, au lieu de se déverser immédiatement dans la chaudière, elle est reçue dans un récipient ouvert R d'où une pompe K l'aspire pour la refouler dans la chaudière.

L'indépendance des divers appareils est ainsi bien mieux assurée que précédemment et on dispose, comme force motrice

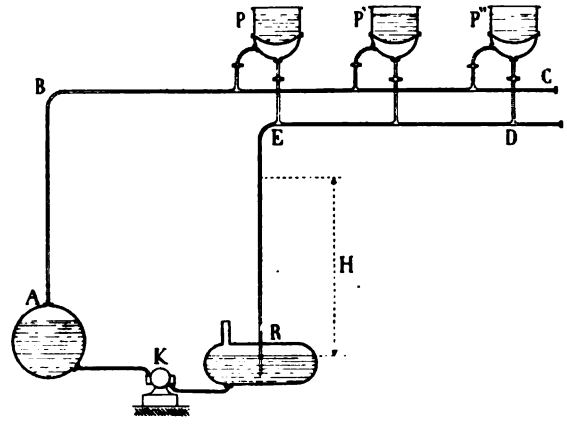


Fig. 509.

pour la circulation la vapeur de toute la pression qui existe dans le générateur.

CALCULS RELATIFS A L'ÉTABLISSEMENT DES CONDUITES DE VAPEUR.

923. Diamètre des tuyaux de vapeur. — Le diamètre des tuyaux de vapeur doit être calculé pour donner passage à un poids déterminé de vapeur en réduisant autant que possible les pertes de charge et les condensations d'une extrémité à l'autre de la conduite.

Nous avons vu (**219**) que le minimum de perte de charge correspondait à une certaine vitesse donnée par la relation

$$v = 53{,}92 \sqrt[3]{\frac{W(1+\alpha t)^2}{kn}}$$

et que dans ce cas, la perte totale (par frottement et condensation) était le triple de celle produite par le frottement seul, de sorte que l'on avait

$$\varepsilon = 3\frac{4kl}{D}d\frac{v^2}{2g}.$$

En posant dans la formule qui précède $k = 0,06$ et $W = 1$ kil., ce qui suppose que les tuyaux sont recouverts d'un enduit calorifuge, on trouve les vitesses suivantes qui donnent le minimum de ε pour les pressions absolues correspondantes de la vapeur.

n	1,2	1,5	2	3	4	5	6	10
v	22,59	21,31	19,62	17,51	16,21	15,17	14,48	12,58

Ces résultats sont, en général, un peu plus faibles que le chiffre donné au n° **918**. Cela provient de ce qu'en pratique, si on admettait des vitesses d'écoulement trop faibles, on serait conduit à donner aux tuyaux des diamètres exagérés, ce qui augmenterait les dépenses de premier établissement.

Pour déterminer le diamètre d'un tuyau de vapeur il suffit d'employer la formule

$$P = \frac{\pi D^2}{4} vd \times 3600$$

dans laquelle :

P est en kilogrammes le poids de vapeur qu'on veut faire écouler en une heure ;

v la vitesse d'écoulement en mètres par seconde ;

d le poids en kilogr. d'un mètre cube de vapeur à la température et à la pression considérées ;

D le diamètre du tuyau en mètres.

Si, par exemple, on veut établir une conduite débitant par heure 750 kil. de vapeur à 5 atmosphères, ce qui correspond à peu près à la production d'une chaudière de 50 m. q. de surface de chauffe, on aura en appliquant la formule qui donne la vitesse pour laquelle on a le minimum de perte de charge $v = 15$ on trouvera dans les tables $d = 2,75$, d'où

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 750}{3600 \times 3,14 \times 15 \times 2,75}} = 0,08.$$

Il faudrait donc un diamètre de 0,08.

924. Diamètre des tuyaux de retour d'eau condensée. — Le même poids de vapeur et d'eau devant passer dans les tuyaux de vapeur, d'une part, et dans ceux de retour

d'eau, d'autre part, on conçoit qu'il doive exister un certain rapport entre leurs diamètres.

Soit comme ci-dessus, P le poids de la vapeur qui passe par seconde, v sa vitesse, d le poids du mètre cube, en kilogr. et D le diamètre de la conduite de vapeur. On a la relation

$$P = \frac{\pi D^2}{4} v d.$$

Soit $v_1 d_1$ et D_1 les quantités correspondantes pour le tuyau d'eau ; on a de même

$$P = \frac{\pi D_1^2}{4} v_1 d_1$$

d'où le rapport

$$\frac{D_1^2}{D^2} = \frac{v d}{v_1 d_1}.$$

D'un autre côté la perte de charge dans le tuyau de vapeur est une certaine fraction m de la perte totale E dans la conduite de vapeur et dans celle de retour d'eau

$$\varepsilon = mE = 3 \frac{4kl}{D} d \frac{v^2}{2g}$$

et celle $\varepsilon_1 =$ dans le tuyau de retour

$$\varepsilon_1 = (1 - m)E = \frac{4k_1 l_1}{D_1} d_1 \frac{v_1^2}{2g}$$

d'où le rapport

$$\frac{D_1}{D} = \frac{m}{1 - m} \times \frac{k_1 l_1 d_1 v_1^2}{3kldv^2}.$$

En éliminant v et v_1, entre les deux rapports que nous venons d'établir, il vient

$$\frac{D_1^5}{D^5} = \frac{m}{1 - m} \frac{k_1}{3k} \frac{l_1}{l} \frac{d}{d_1}$$

d'où la valeur de D_1 en fonction de D

$$D_1 = D \sqrt[5]{\frac{m}{1 - m} \frac{k_1}{3k} \frac{l_1}{l} \frac{d}{d_1}}.$$

En prenant $k_1 = k$ $l_1 = l$ $d_1 = 1$ $m = 3/4$, il vient

$$D_1 = D\sqrt[5]{d} \qquad \frac{D_1}{D} = \sqrt[5]{d}$$

et on trouve suivant la pression n les valeurs suivantes :

$n =$	1,2	1,5	2	3	4	5	6
$d =$	0,7194	0,8874	1,1631	1,7024	2,2303	2,750	3,2632
$\sqrt[5]{d} = \frac{D_1}{D} =$	0,235	0,245	0,259	0,279	0,295	0,307	0,318

Ce tableau montre que le diamètre du tuyau de retour est en nombres ronds compris entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{3}$ de celui du tuyaux de vapeur.

Il faut d'ailleurs, dans la détermination des diamètres des tuyaux de retour, tenir compte de la pente qu'on peut donner à ceux-ci.

PURGEURS AUTOMATIQUES.

925. Le retour de l'eau condensée dans un récipient communiquant avec l'atmosphère présente, comme nous l'avons vu, le grand avantage de faciliter la circulation dans le sens voulu et d'assurer la régularité dans le fonctionnement des appareils de chauffage, mais il a un inconvénient qui pourrait être grave si on ne prenait certaines précautions.

Si les robinets qui distribuent la vapeur aux appareils, ainsi que ceux placés sur le retour, sont trop ouverts, la vapeur introduite n'étant pas entièrement condensée, l'excédent se rend avec l'eau de retour au récipient collecteur, et, par le tuyau d'échappement, elle se répand librement dans l'atmosphère. Il suffit de la négligence d'un ouvrier ou d'un mauvais réglage des robinets pour perdre de cette façon et pendant des journées entières des quantités considérables de vapeur.

Pour éviter cet inconvénient, on a imaginé des appareils accessoires désignés sous le nom de purgeurs automatiques qui laissent écouler l'eau condensée mais retiennent la vapeur.

On place ces appareils sur le tuyau de retour avant l'arrivée au récipient collecteur des eaux de condensation, et même, quelquefois, on en met un à la sortie de chaque appareil de chauffage pour empêcher complètement la vapeur de pénétrer dans le tuyau de retour.

Ces appareils peuvent se répartir en deux classes, ceux de la première agissant par l'effet de la dilatation et ceux de la deuxième agissant sous l'action d'un flotteur; nous n'étudierons ici que ceux de cette dernière catégorie; les autres étant plus spécialement employés dans le chauffage des habitations par la vapeur seront décrits plus loin dans le chapitre spécial réservé à cette étude.

926. Purgeur Péclet. — Le purgeur Péclet (fig. 510) est constitué par un récipient cylindrique à fonds bombés muni à sa partie inférieure d'une soupape qui ferme l'orifice supérieur d'une tubulure raccordée avec la canalisation de retour d'eau. Cette soupape est reliée par une tige à un flotteur creux; lorsque le récipient est vide d'eau la soupape repose sur son siège et les appareils de chauffage ne sont pas en communication avec les retours.

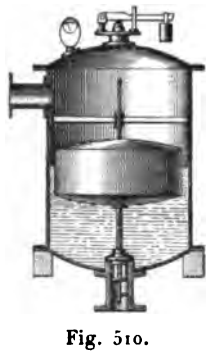


Fig. 510.

L'eau de condensation venant des conduites de vapeur entre dans le récipient par une tubulure latérale et s'accumule jusqu'à ce qu'elle détermine le soulèvement du flotteur; la soupape s'ouvre alors et l'eau s'écoule tant que son niveau reste suffisant pour maintenir le flotteur soulevé.

On voit ainsi qu'il y a toujours une couche de liquide entre la vapeur et l'orifice d'évacuation. Ce purgeur a surtout été employé dans les sucreries et en général dans les usines où l'on utilise au chauffage la vapeur d'échappement des machines.

Lorsque la tension de la vapeur atteint une valeur assez élevée, il arrive souvent que la force ascensionnelle du flotteur immergé est insuffisante pour vaincre la pression qui maintient la soupape sur son siège et alors l'appareil ne fonctionne pas.

Cette éventualité peut également résulter de ce que le flotteur creux se déforme et s'écrase même sous l'action de la pression.

927. Purgeur Geneste et Herscher. — MM. Geneste et Herscher évitent les inconvénients que nous venons de signaler en construisant un appareil (fig. 511) formé d'un récipient métallique dans lequel oscillent deux contre-poids cylindriques pleins fixés aux extrémités d'une tige calée en son milieu sur un axe qui lui est perpendiculaire et qui se termine par deux tourillons. Cet axe porte une petite manivelle qui entraîne une bielle actionnant un tiroir; celui-ci glisse sur un siège incliné et peut, suivant les cas, démasquer ou couvrir l'orifice de sortie réservé au bas du purgeur.

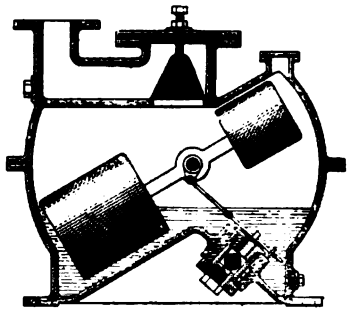


Fig. 511.

Les deux contre-poids sont de volume, de densité et de poids différents. Le plus petit est en plomb, le plus gros est en pierre ou autre matière analogue de faible densité. Le poids de ce dernier est, dans l'air ou la vapeur, supérieur à celui du premier, tandis que, dans l'eau, c'est le poids en plomb qui l'emporte.

En versant de l'eau dans le récipient et en la laissant ensuite s'écouler, on détermine le mouvement d'oscillation des contre-poids. On utilise ce mouvement pour provoquer automatiquement le va-et-vient du tiroir et, par suite, l'ouverture ou la fermeture de l'orifice d'écoulement.

Les dimensions relatives des deux poids sont calculées pour que le maximum de la force qui sollicitera le tiroir à monter soit égal et de sens contraire à celui de la force qui tendra à le faire descendre.

L'effort nécessaire pour provoquer le mouvement du tiroir est moindre que dans le purgeur Péclet, parce que le frottement qui représente la résistance à vaincre n'est qu'une fraction (1/4 environ) de la pression totale s'exerçant sur le tiroir.

L'eau de condensation à extraire arrive dans le purgeur par

une tubulure réservée à son sommet et traverse avant d'entrer dans le récipient une crépine en toile métallique facile à visiter et destinée à retenir les corps étrangers. Un bouchon à vis placé sur la tubulure permet de nettoyer la capacité située en avant de la crépine sans démonter les joints de l'appareil.

Au repos, le contre-poids en pierre, c'est-à-dire le plus lourd et le plus volumineux, est toujours au bas de la course. Lorsqu'on met la vapeur dans la conduite, l'eau de condensation descend dans le purgeur où elle s'accumule, vient noyer ce contre-poids et diminue son poids apparent.

Il arrive un moment où le contre-poids en plomb l'emporte; il se produit une oscillation, et le tiroir se déplace dans le sens voulu pour démasquer l'orifice d'écoulement. L'eau s'écoule et le niveau du liquide baisse dans l'appareil jusqu'à ce que le contre-poids en pierre, redevenu prépondérant, détermine une oscillation inverse de la première. Le tiroir revient couvrir l'orifice de sortie et l'écoulement cesse. La même série de phénomènes se reproduit indéfiniment et, l'orifice d'écoulement restant toujours noyé, on voit que l'appareil permet d'extraire l'eau condensée sans perdre de vapeur.

928. Ballon allemand. — Cet appareil (fig. 512), se compose en principe d'une caisse cylindrique A dans laquelle débouchent deux tuyaux : l'un B servant à l'arrivée de l'eau de condensation, l'autre C à son évacuation. Ce dernier descend presque jusqu'à la partie inférieure du réservoir et peut être obturé à son extrémité par le fond d'une sorte de baquet flottant. L'eau de condensation arrivant dans l'appareil soulève la caisse flottante qui se trouve arrêtée dans son ascension par le tuyau D contre lequel elle vient buter ; le liquide continuant à arriver passe à un moment donné par-dessus les bords de la caisse qui s'enfonce et démasque l'orifice d'évacuation par lequel l'eau est chassée en vertu de la pression existant dans l'appareil. Dès

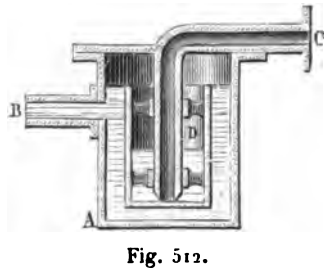


Fig. 512.

que le baquet est suffisamment vidé, il se relève de nouveau, l'orifice du tuyau D se ferme et les phénomènes que nous venons de décrire se reproduisent de nouveau.

Dans les purgeurs de ce type récemment construits, la tubulure B est remontée jusqu'au-dessous de la bride d'attache du couvercle, de manière à rester constamment au-dessus de l'eau.

Il arrive fréquemment, lorsque les pressions sont un peu élevées et même à basse pression lorsque le liquide contient des matières grasses ou poisseuses, que le fond du cylindre D se colle contre l'extrémité de la trompe; alors l'appareil ne fonctionne plus. On cherche à remédier à cet inconvénient en faisant à la lime, sur l'extrémité de la trompe, une petite entaille dirigée suivant un diamètre. Grâce à cet artifice, on parvient à empêcher l'adhérence, mais l'entaille crée une fuite de vapeur permanente.

929. L'air qui remplit les tuyaux et les appareils au moment de la mise en marche est très nuisible à la transmission de la chaleur; aussi est-il de toute nécessité de l'évacuer le plus rapidement possible.

Pour cela on ménage à l'extrémité des conduites de vapeur ou dans les couvercles des purgeurs des robinets appelés souffleurs que l'on ouvre au moment de la mise en marche pour ne les refermer que lorsque la vapeur arrive franchement.

Il est même bon de rouvrir ces robinets de temps en temps pendant le travail pour se débarrasser de l'air qui peut s'être accumulé de nouveau dans les conduites.

Aujourd'hui les souffleurs sont fréquemment remplacés par les purgeurs d'air à fonctionnement automatique dont nous parlerons plus loin lorsqu'il sera question du chauffage à vapeur.

930. Compteur de vapeur Parenty. — En terminant ce chapitre, nous croyons utile de faire connaître sommairement un appareil nouveau et très ingénieux, dû à M. Parenty, ingénieur des manufactures de l'État. Cet appareil, désigné sous le nom de *compteur de vapeur*, permet de mesurer directement *le poids* de vapeur d'eau débité par une conduite; il a fonctionné

dans le pavillon de MM. Bon et Lustremant pendant toute la durée de l'Exposition universelle de 1889.

Les fournitures d'eau et de gaz se mesurent en général au moyen de compteurs pourvus d'un totalisateur à cadrans sur les-

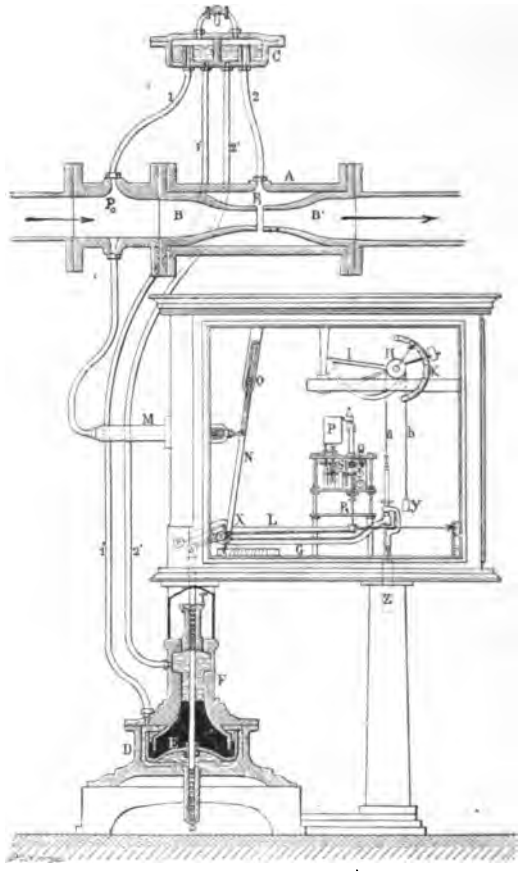


Fig. 513.

quels on peut relever, à un moment quelconque, le volume total débité.

Ce procédé convient très bien pour l'eau, qui est incompressible, et pour le gaz d'éclairage, qui arrive au compteur avec une pression sensiblement constante; mais on ne saurait l'ap-

pliquer à la vapeur d'eau, qui est généralement débitée sous des pressions fréquemment variables et, par suite, avec des densités fort différentes dans des espaces de temps très limités. Dans ce cas, pour rendre comparables entre elles les constatations faites, c'est non pas le volume de vapeur écoulé, mais le poids de vapeur débité que le compteur doit faire connaître.

Quand l'écoulement de la vapeur se fait sous l'influence d'une faible différence de pression, la densite de ce fluide varie très peu, et il peut dès lors être considéré comme sensiblement soumis aux lois de l'écoulement des fluides incompressibles.

Si l'on appelle Ω la section d'écoulement, $p_0 - p_1$ la perte de charge d'un côté à l'autre de l'orifice exprimée en hauteur d'eau, δ la densité de la vapeur par rapport à l'eau à la pression p_0, le poids écoulé en une seconde est donné approximativement par la formule :

$$P = m\Omega\sqrt{(p_0 - p_1)\delta}.$$

C'est le produit $\sqrt{(p_0 - p_1)\delta}$ que le compteur de M. Parenty a pour but de résoudre et d'intégrer à tout instant.

L'appareil comprend comme parties principales :

1° Un rhéomètre A, dans lequel se produit une faible perte de charge $p_0 - p_1$.

2° Deux réservoirs C, accolés et remplis d'eau jusqu'au même niveau et servant à la transmission des pressions p_0 et p_1.

3° Un manomètre différentiel D servant, à l'aide d'un levier G et d'une came I, à fournir le premier facteur $\sqrt{p_0 - p_1}$.

4° Un manomètre M à piston et à ressort qui, par l'intermédiaire d'un levier N déplaçant une goupille X, fait intervenir la racine carrée de la densité dans l'évaluation du compteur.

5° Un compteur totalisateur à diagramme, fournissant en poids le débit de vapeur pendant un temps donné.

Nous allons reprendre avec quelques détails la description de ces organes et indiquer comment ils sont reliés entre eux.

Le rhéomètre A est pourvu de deux cônes renversés; l'ajutage convergent donne lieu à la perte de charge $p_0 - p_1$ qu'il s'agit de mesurer et le cône qui lui fait suite sert à rétablir

autant que possible la pression statique initiale dans la conduite.

Les réservoirs de condensation C reçoivent la vapeur, l'un à la pression p_0 par le tube 1, branché en amont du premier cône, et l'autre à la pression p_1 par le tube 2 venant de la chambre A qui enveloppe les deux cônes. La vapeur se condensant au contact des parois des réservoirs C, ceux-ci, pendant la marche normale, sont toujours remplis d'eau jusqu'au niveau de l'orifice supérieur des tubes 1 et 2, et, comme les réservoirs ont une grande surface, le niveau supérieur du liquide reste à très peu près invariable.

Le manomètre différentiel à mercure est composé d'un récipient D formant le pied de l'appareil et dans lequel se trouve une cuvette mobile E. Le couvercle F du récipient, intérieurement évasé, est pourvu d'un prolongement en forme de pavillon de trompette terminé par une partie cylindrique plongeant dans le mercure que contient la cuvette mobile. L'évasement est établi de telle sorte que, sous l'influence d'une pression différentielle quelconque $p_0 - p_1$, l'abaissement du niveau du mercure de la cuvette soit toujours égal à la racine carrée de cette pression $p_0 - p_1$.

Ainsi, une pression $p_0 - p_1$ égale à 9^{cm} de mercure donne lieu à une dénivellation de 3^{cm} dans la cuvette mobile. Il résulte de là que cette cuvette perd de son poids une quantité proportionnelle à la racine carrée de $p_0 - p_1$, c'est-à-dire proportionnelle au débit.

Les réservoirs C et le manomètre D communiquent par l'intermédiaire des tubes 1 et 2 qui transmettent, le premier la pression p_0 dans l'espace annulaire au-dessus de la cuvette mobile, et le second la pression p_1 dans la chambre supérieure du tube évasé.

L'ensemble forme un siphon renversé contenant deux liquides, eau et mercure, et dont les extrémités supérieures situées au même niveau sont soumises à des pressions différentes p_0 et p_1. Lorsque ces deux pressions sont égales, $p_0 = p_1$, le mercure est au même niveau dans les deux branches du siphon, c'est-à-dire dans la cuvette mobile et dans le tube évasé.

Aussitôt que les pressions sont différentes, il faut, pour l'équilibre, que le niveau du mercure s'élève d'une quantité correspondante à $p_0 - p_1$ dans la branche où s'exerce la pression la moins élevée. La surface des réservoirs C est telle que, malgré les variations de la différence $p_0 - p_1$, la hauteur des colonnes dans les deux branches du siphon renversé soit sensiblement constante. La différence passagère qui pourrait exister disparaîtrait d'ailleurs bientôt par suite de la condensation de la vapeur dans C.

La cuvette mobile F est portée par une tige verticale T guidée dans deux petits cylindres bien alésés situés l'un sous le récipient D, l'autre sur son couvercle ; la tige T présente au droit de chaque cylindre une série de rainures circulaires qui forment un piston cannelé assurant une étanchéité suffisante des joints, tout en réduisant considérablement les frottements. L'extrémité supérieure de la tige T est portée par la petite branche du levier G, tandis que la longue branche de ce dernier supporte un poids déterminé Z. Un poids auxiliaire Y dont l'effet se retranche de celui du poids Z agit sur une came I solidaire du levier G. Le moment de l'ensemble Z et Y par rapport à l'axe de suspension du levier G varie de manière à faire, à chaque instant, équilibre au moment variable de la cuvette mobile par rapport au même axe. Les variations de poids de la cuvette résultant de l'ascension ou de la descente du mercure dans la trompe F sont proportionnelles à $\sqrt{p_0 - p_1}$. Les ordonnées de la came I croissent proportionnellement à l'angle qu'elles font avec l'ordonnée de la position initiale; il en résulte que pour une position quelconque d'équilibre les déviations angulaires du levier G mesureront le facteur $\sqrt{p_0 - p_1}$.

Le compensateur de densité se compose essentiellement d'un second levier L reposant sur le premier par l'intermédiaire d'une goupille X dont la position est déterminée par la valeur de p_0 fournie par un manomètre à piston M.

Les axes de suspension des deux leviers G, L sont choisis et la trajectoire décrite par la goupille X est déterminée de telle façon que, pour chaque position de cette goupille X, la déviation

angulaire du levier L soit à celle du levier G dans le rapport $\sqrt{\delta}$; par conséquent les déviations angulaires du levier L sont proportionnelles à $\sqrt{p_0 - p_1}\ \sqrt{\delta}$, donc aussi au poids de vapeur écoulé.

L'enregistreur N et le totalisateur S sont mis en mouvement par le levier L dont nous venons de définir le mouvement. L'enregistreur trace sur un cylindre tournant une courbe dont l'ordonnée est proportionnelle au débit en poids, le totalisateur fournit à chaque instant au moyen des cadrans de son compteur la dépense de vapeur, en poids, pendant un temps déterminé.

L'appareil fonctionne de la manière suivante : La vapeur passant dans la conduite à une pression p_0 traverse l'ajutage de section Ω; la pression dans la chambre A est alors p_1. Les deux pressions p_0 et p_1 sont transmises au manomètre différentiel D. De la variation de poids de la cuvette E résulte une inclinaison du levier G et un mouvement correspondant du poids Z. L'action de ce poids Z se trouve modifiée en raison de la variation du bras de levier du contre-poids Y, variation produite par la rotation de la came I. Le mouvement de G se continue jusqu'à ce que le moment des poids Z et Y fasse équilibre à celui de la cuvette mobile E. Le déplacement du levier G entraîne celui de l'index X et, par suite, le mouvement du levier L qui commande l'enregistreur. Les déplacements de l'index X sont en outre déterminés par le mouvement du levier L dont la position dépend à chaque instant de la pression p_0.

Si l'on suppose que la conduite remplie de vapeur ne dépense rien à un moment donné, les pressions dans le manomètre différentiel seront toutes deux égales à p_0, et le levier G restera immobile; mais la goupille X occupera une position dépendant de la pression p_0 dans la conduite. Pour que le compteur n'indique aucune dépense de vapeur, les deux leviers G et L sont parallèles sur une certaine longueur, et les déplacements de la goupille X, résultant des changements de pression dans la conduite, n'entraînent aucun mouvement relatif des deux leviers G et L; G restant fixe, L demeure également immobile.

Dans le cas où le ressort du manomètre à piston M aurait

varié de puissance, le déplacement de la goupille ne permettrait plus d'obtenir le débit réel sur le compteur, qui fournirait seulement un nombre proportionnel au débit. Le déplacement de l'axe fixe o permet de régler l'appareil à nouveau et de le ramener à fournir le poids vrai.

La graduation de l'appareil peut se faire très simplement par une détermination expérimentale, au moyen des indications d'un manomètre différentiel à eau placé sur l'appareil, indications concordant avec celles du manomètre différentiel à mercure.

L'appareil de M. Parenty ne mesure pas l'eau entraînée par la vapeur.

CHAPITRE II

DISTILLATION

931. La distillation a pour objet soit de séparer par la vaporisation une ou plusieurs substances volatiles des matières fixes qu'elles tiennent en dissolution (distillation simple), soit de séparer des liquides mélangés, en utilisant les différences de température de leur point d'ébullition (distillation des liquides mélangés).

C'est ainsi qu'on distille l'eau ordinaire, qui contient des sels en dissolution, pour avoir de l'eau pure ou *eau distillée*, et qu'on distille les vins pour en extraire l'alcool. Mais, dans ce second cas, l'eau et l'alcool entrant en ébullition à des températures peu différentes, l'eau à 100° et l'alcool à 78°,4, la séparation est assez difficile parce que la vapeur qui se dégage d'un liquide de ce genre renferme toujours une certaine quantité des diverses substances mélangées. On est obligé pour arriver à la séparation complète de procéder par distillations successives ou de recourir à des appareils plus compliqués.

Dans tous les cas, la distillation comprend deux opérations distinctes :

1° Chauffage des matières à traiter, pour produire la vaporisation du corps à isoler ;

2° Refroissement des vapeurs pour obtenir à l'état liquide ou solide les matières séparées.

L'appareil de distillation se compose donc de deux parties, une chaudière pour la vaporisation et un réfrigérant pour condenser la vapeur produite.

§ Ier

DISTILLATION SIMPLE.

Cette opération que nous avons définie en premier lieu est peu compliquée puisqu'il ne s'agit que de séparer des matières volatiles des substances fixes qu'elles renferment. On y a fréquemment recours pour obtenir de l'eau bien pure pour certains usages domestiques ou industriels et aussi, sur les navires, pour préparer de l'eau potable avec de l'eau de mer.

DISTILLATION DE L'EAU.

932. Nous avons vu, dans le chapitre relatif aux chaudières à vapeur, que l'eau ordinaire renferme en dissolution des matières salines provenant, en général, des terrains qu'elle a traversés. Les sels que l'on rencontre le plus souvent sont le carbonate et le sulfate de chaux. Ces substances existent parfois en telle quantité dans l'eau, qu'elles rendent ce liquide impropre à certains usages. Lorsqu'on veut purifier une eau de cette nature, la distillation permet d'opérer avec facilité la séparation du liquide et des matières étrangères qui l'accompagnent.

Alambic. — L'appareil qu'on emploie dans ce but est connu sous le nom d'alambic (fig. 514).

Il se compose d'une chaudière appelée cucurbite, placée dans un fourneau ; celle-ci est surmontée d'un dôme ou chapiteau communiquant avec un condenseur formé d'un serpentin qui plonge dans une cuve remplie d'eau.

On place le liquide à distiller dans la chaudière ; bien que chauffée à feu nu, celle-ci n'a pas besoin d'être pourvue des appareils de sûreté réglementaires, si elle est en communication directe avec un serpentin dont une extrémité reste ouverte à l'air libre. Le tuyau de communication doit avoir un diamètre suffisant pour assurer le départ immédiat de la vapeur à mesure

de sa formation et pour éviter qu'il ne se produise dans la chaudière une pression appréciable.

On peut remplacer le chauffage à feu nu par tout autre système de chauffage. On utilise souvent la vapeur qu'on fait arriver dans un serpentin ou dans un faisceau tubulaire immergé dans le liquide à distiller, ou bien encore dans un double fond recouvert par le liquide.

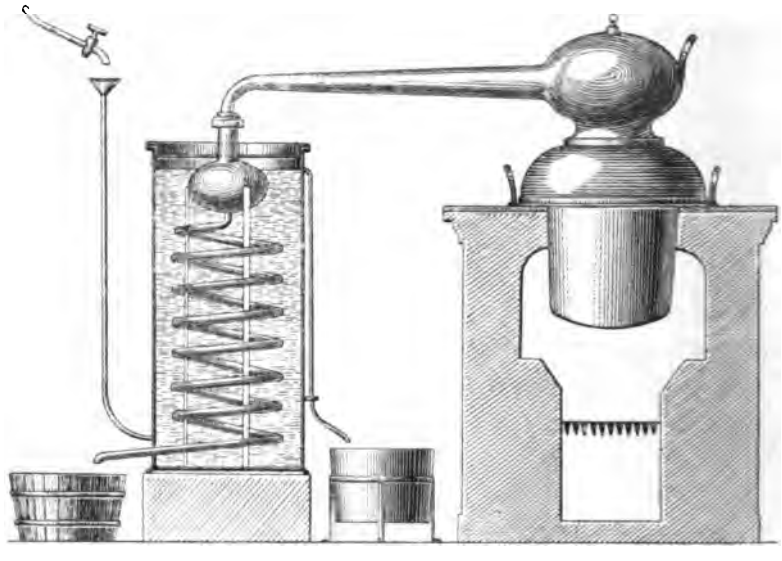


Fig. 514.

La vapeur qui se dégage sous l'action de la chaleur sort de la chaudière, arrive dans le haut du serpentin qu'elle parcourt en descendant et se condense au contact des parois refroidies. Le développement du serpentin doit être suffisant pour assurer une condensation complète et pour éviter tout échappement de vapeur à la sortie de l'appareil.

En conduisant l'opération avec précaution, de manière qu'il n'y ait pas d'ébullition tumultueuse ni d'eau entraînée avec la vapeur, on obtient de l'eau pure qui s'écoule par l'extrémité ouverte du serpentin.

Cependant il convient de mettre à part les premières parties d'eau condensées dans le serpentin car elles contiennent en géné-

ral de l'ammoniaque ou d'autres corps volatils qui pouvaient se trouver dans l'eau soumise à la distillation.

On recueille seulement les parties intermédiaires qui comprennent l'eau la plus pure. Lorsque le volume du liquide de la cucurbite est réduit de moitié environ, on ajoute de l'eau nouvelle et on continue la distillation, en ayant soin de recommencer le fractionnement du liquide distillé. Après cinq ou six opérations, il convient de se débarrasser de l'eau mère, pour ne pas trop concentrer les matières salines qu'elle tient en dissolution et ne pas risquer de les décomposer.

Afin d'avoir un refroidissement méthodique et le maximum d'effet utile (**99** et suivants) on a soin de renouveler continuellement l'eau froide destinée à la condensation, et de la faire circuler de bas en haut, c'est-à-dire en sens inverse de la vapeur qui vient de la chaudière. La présence de l'air dans la vapeur entravant la condensation, on a intérêt à former le serpentin de parties de faible diamètre plutôt que de le composer de gros tuyaux ou de vases de grande section qu'il est toujours difficile de purger d'air.

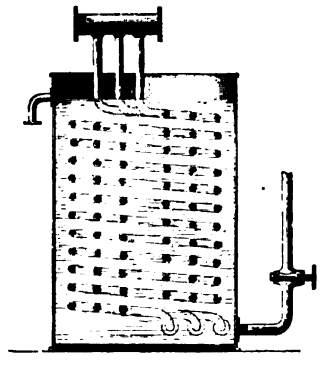


Fig. 515.

On peut accroître la surface d'un condenseur sans augmenter beaucoup l'espace occupé par l'appareil, en groupant dans la cuve du condenseur plusieurs serpentins disposés concentriquement (fig. 515).

Quand on distille de l'eau, le choix des matériaux servant à constituer les différentes parties de l'alambic n'a que peu d'importance ; mais lorsqu'il s'agit d'autres liquides, il est nécessaire d'employer des matières qui ne soient pas altérées par les produits à distiller.

933. Calcul d'un appareil distillatoire. — Les surfaces des chaudières et des condenseurs, et la quantité d'eau nécessaire à la condensation se calculent d'après les indications que nous avons données dans la première partie de cet ouvrage.

On détermine :

1° La surface de la chaudière, en prenant comme coefficient de transmission (**124**) de 7,500 à 10,000 calories par mètre carré et par heure, suivant les cas ;

2° Les surfaces de condensation en comptant (**124**) sur 750 à 1,500 calories, c'est-à-dire $1^k,1/2$ à 3 kilogr. de vapeur d'eau condensée par mètre carré par heure et par degré de différence de température, quand l'eau servant au refroidissement conserve une température inférieure à 100°. On se base sur 4,000 à 5,000 calories, c'est-à-dire 8 à 10 kilogr. de vapeur condensée, lorsque le liquide est en ébullition.

Si l'on emploie un condenseur à air, les coefficients de transmission variant (**120**) de 10 à 15 calories par mètre carré par heure et par degré d'écart, on voit que la surface du condenseur à air doit être de 75 à 100 fois plus grande que celle d'un serpentin plongé dans l'eau non bouillante ;

3° Le volume d'eau nécessaire à la condensation peut être facilement évalué en remarquant que la quantité de chaleur gagnée par l'eau du condenseur est égale à celle qui est fournie par la condensation de la vapeur et le refroidissement de l'eau distillée. Il suffit de poser l'équation

$$Q(t-\theta)=A+c(T-t)$$

dans laquelle entrent :

Q poids d'eau nécessaire à la condensation de 1 kilogramme de vapeur.

θ température de l'eau arrivant au condenseur.

t température de l'eau échauffée et de la vapeur condensée.

A chaleur latente de cette vapeur.

c chaleur spécifique du liquide condensé ; pour l'eau $c=1$.

T température de la vapeur sortant de la chaudière.

Si l'on condense au moyen d'un courant d'air, la relation deviendra

$$Q_1c_1(t-\theta)=A+C(T-t)$$

Q_1 poids de l'air nécessaire à la condensation de 1 kilog. de vapeur.

c_1 chaleur spécifique de l'air.

$$c_1 = 0,2378$$

Si l'on considère des appareils de même puissance, on voit qu'il faudra faire circuler un volume d'air plus de 4000 fois supérieur au volume d'eau qui serait nécessaire pour produire la condensation.

Dans les relations précédentes, on a négligé le refroidissement dû aux parois extérieures du condenseur et admis que l'eau servant au refroidissement quitte le condenseur à la même température t que le liquide distillé.

934. Description du condenseur. — Le serpentin du condenseur peut présenter des formes diverses. Lorsqu'on a besoin de pouvoir le nettoyer intérieurement, on le compose de tubes droits de faible diamètre, inclinés successivement en sens contraire, et reliés par des coudes faciles à démonter (fig. 516).

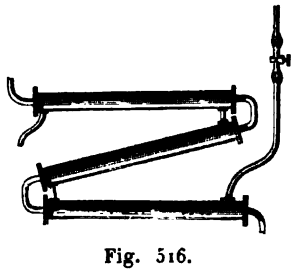


Fig. 516.

La partie droite des tubes est enfermée dans des tuyaux de diamètre plus grand, et communiquant l'un avec l'autre à leurs extrémités correspondantes.

La vapeur à condenser descend dans le tube central, et l'eau de condensation circule, en montant dans le vide annulaire des gros tuyaux.

Pour obtenir une très grande surface de refroidissement sous un faible volume, on a remplacé les appareils à serpentin par des tubes groupés en faisceau comme ceux des chaudières tubulaires.

On a imaginé beaucoup d'autres dispositions de réfrigérant ; nous en verrons différents exemples dans les appareils que nous décrirons plus loin.

Sauf dans le cas où l'on veut aérer le liquide distillé, il faut disposer les condenseurs de telle sorte que la purge de l'air soit toujours facile et bien complète ; sinon la transmission par unité de surface diminuera, la condensation sera moins active, et il faudra augmenter inutilement la surface du réfrigérant.

DISTILLATION A DES PRESSIONS DIFFÉRENTES DE LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE.

935. Lorsque l'on a intérêt à produire la distillation à basse température, on peut opérer dans le vide; on se sert pour cela d'un alambic (fig. 517) analogue à celui que nous venons de décrire, mais dans lequel le serpentin de condensation communique avec un réservoir M hermétiquement fermé.

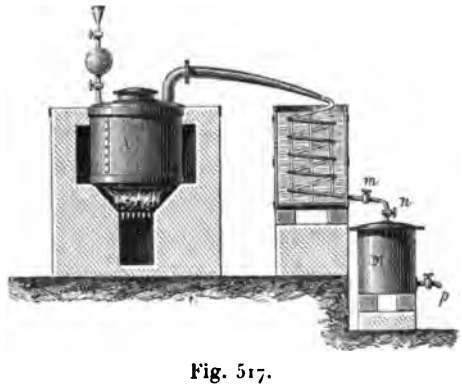


Fig. 517.

On fait le vide dans l'alambic au commencement de l'opération soit avec une pompe, soit en faisant bouillir dans la chaudière une certaine quantité de liquide dont la vapeur chasse l'air de l'appareil. Dans ce dernier cas, on a soin de ne pas mettre d'eau dans la cuve du condenseur pendant cette opération préliminaire.

Quand l'appareil est purgé d'air, on ferme le robinet *p;* on condense ensuite la vapeur en versant de l'eau dans la cuve et on obtient ainsi le vide dans l'alambic.

Le réservoir M est muni de deux robinets *n*, *p*, et le serpentin d'un robinet *m*, ce qui permet d'enlever le réservoir M sans mettre l'appareil distillatoire en communication avec l'extérieur et de le remplacer par un autre dans lequel on a fait le vide. Afin de permettre d'ajouter de nouvelles quantités de liquide dans l'alambic pendant la distillation, et de rendre ainsi les opérations continues, la chaudière est surmontée d'un récipient placé entre deux robinets dont le jeu permet d'établir à volonté la communication avec l'atmosphère et avec l'alambic.

D'autres fois au contraire on cherche à distiller sous pression, il suffit d'établir, sur la conduite d'évacuation des vapeurs, une

soupape qui ne s'ouvre qu'au moment où la pression voulue est atteinte.

Dans les cas où l'alambic est pourvu de robinets, la chaudière doit être munie de tous les appareils de sûreté exigés pour les générateurs de vapeur.

APPAREILS DE DISTILLATION A EFFETS MULTIPLES.

936. La chaleur absorbée par le bouilleur d'un alambic pour produire la vaporisation de l'eau à distiller passe dans l'eau du condenseur et, en général, se trouve complètement perdue. On peut utiliser une partie de cette chaleur en alimentant le bouilleur avec l'eau chaude qui sort du condenseur. Mais, comme la chaleur latente de vaporisation rendue libre par la condensation d'un kilogramme de vapeur à 100 degrés est de 537 calories, et qu'un même poids d'eau chauffé à cette température absorbera au maximum 100 calories, on voit qu'on perdra encore plus des quatre cinquièmes de la chaleur dépensée.

Nous allons décrire un dispositif ayant pour but d'utiliser cette chaleur à produire l'ébullition d'une nouvelle quantité de liquide dont les vapeurs seront employées à leur tour de la même manière. Cette opération, qui pourrait théoriquement se répéter un nombre indéfini de fois, est en pratique très rapidement limitée par suite des pertes de chaleur à travers les parois des appareils, de la température que conserve le liquide condensé et de la différence de température qu'il est nécessaire d'établir entre les différentes chaudières successives.

Pour qu'il y ait pratiquement transport de la chaleur d'un appareil au suivant, il faut qu'il existe entre ces deux appareils une certaine chute de température, c'est-à-dire que l'ébullition dans ce dernier se produise à une température moins élevée que dans le précédent, ce qui ne peut arriver que si la pression va en baissant quand on passe de l'un à l'autre.

Voici comment cette condition se trouve réalisée en pratique.

L'appareil (fig. 518) se compose d'une première chaudière C chauffée soit directement à feu nu, soit par la vapeur provenant

d'un générateur ou de l'échappement d'une machine; à la suite vient une série d'autres chaudières AA'A''A''' renfermant chacune un serpentin H en communication avec la chaudière précédente, et débouchant dans des réservoirs fermés BB'B''B'''. La dernière

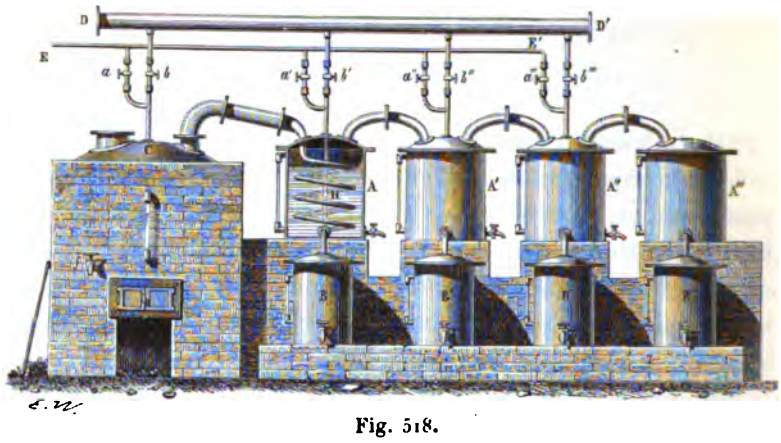


Fig. 518.

chaudière A''' communique avec l'atmosphère et contient un liquide froid condensant les vapeurs qui arrivent dans le dernier serpentin. Le liquide à distiller est amené par la conduite DD' communiquant avec les chaudières par des tuyaux munis de robinets *bb'b''b'''*.

Quand on chauffe avec de la vapeur d'échappement, il est nécessaire de faire le vide dans l'appareil au commencement de l'opération; on envoie ensuite la vapeur dans C, et l'échelle des pressions s'établit d'elle-même. On peut faire le vide, soit avec une pompe à air en communication avec chacune des capacités, soit en remplissant celles-ci de vapeur que condense ensuite le liquide froid à traiter, lorsqu'on l'introduit dans les chaudières.

Quel que soit le procédé employé, on ouvre d'abord les robinets *aa'a''a'''* permettant d'établir la communication entre les chaudières et la conduite EE' qui correspond soit à la pompe, soit à l'arrivée de vapeur. Lorsque le vide est opéré ou que les chaudières sont remplies de vapeur, on ferme *aa'a''a'''* et on ouvre les robinets *bb'b''b'''* par lesquels arrive le liquide à dis-

tiller; on les ferme successivement à mesure que les chaudières sont suffisamment remplies.

L'alimentation des chaudières peut s'effectuer en marche, mais pour vider les vases BB'B"B‴ il faut ou rétablir la pression atmosphérique dans chacun d'eux ou les mettre en communication avec d'autres vases dans lesquels on fait le vide.

DISTILLATION DE L'EAU DE MER.

937. Afin de n'avoir pas à faire à bord des navires de grands approvisionnements d'eau douce avant le départ, on a depuis longtemps songé à distiller l'eau de mer et à se procurer ainsi de l'eau douce pour tous les usages qui en nécessitent l'emploi. On s'est heurté à certaines difficultés qui, pendant longtemps, ont empêché de se servir de ce procédé pour obtenir de l'eau potable.

Ainsi l'eau distillée n'était pas aérée, ce qui la rendait lourde et indigeste. De plus, elle avait un goût et une odeur désagréables, provenant de matières empyreumatiques qui résultent de la décomposition, pendant l'ébullition, des matières organiques que l'eau de mer renferme. On est enfin parvenu à remédier à ces inconvénients et, aujourd'hui, les appareils distillatoires font partie des accessoires indispensables sur les navires bien aménagés.

L'aération de l'eau distillée s'obtient en condensant les vapeurs aqueuses au contact d'un excès d'air, qu'on introduit dans le récipient où s'opère la condensation.

Pour faire arriver l'air dans le réfrigérant, M. Mazeline employait une pompe à air qui reprenait l'eau distillée pour l'envoyer sur un filtre composé de sable et de charbon.

938. **M. Perroy**, ingénieur de la Marine, a imaginé une disposition plus simple généralement employée dans les appareils de distillation.

La pompe à air est supprimée et l'aspiration est produite au moyen d'un injecteur d'entraînement de gaz, au centre duquel arrive par un ajutage le jet de vapeur à condenser pour obtenir de l'eau potable. L'air atmosphérique se trouve ainsi appelé et

entraîné dans le condenseur, et l'eau refroidie est convenablement aérée.

939. Le docteur Normandy, dans son appareil distillatoire, saturait l'eau condensée avec l'air même qui se trouve dissous dans l'eau de mer employée à la condensation. Cette disposition ne donne à l'eau aucune qualité spéciale et paraît compliquer inutilement les appareils de distillation.

Pour faire disparaître l'odeur et le goût désagréables de l'eau distillée, M. Normandy filtre celle-ci sur du noir animal, afin de détruire par oxydation les matières empyreumatiques. Cette oxydation ou combustion s'effectue rapidement en présence du noir, en raison de sa porosité et de l'excès d'air qui accompagne l'eau condensée.

A bord des navires, où les espaces disponibles sont très restreints, il importe que les bouilleurs soient de dimensions aussi réduites que possible. Ils doivent donc présenter de grandes surfaces de chauffe sous un volume très limité et doivent être combinés de manière à produire de grandes quantités de vapeur, sans que cependant l'activité de l'ébullition puisse occasionner des entraînements d'eau salée.

Lorsque les machines des navires sont pourvues de condenseurs à injection directe, l'eau de mer se renouvelant incessamment dans les chaudières qui produisent la force motrice, on peut emprunter à celles-ci la vapeur nécessaire pour faire de l'eau potable.

Au contraire lorsqu'on fait usage de condenseurs à surface, l'eau de condensation constamment réemployée se surcharge de graisse et acquiert un goût nauséabond dont la distillation ni la purification consécutive sur le noir animal ne peuvent la débarrasser complètement. On perdrait, du reste, en se servant de cette eau, le bénéfice résultant de l'adoption des condenseurs à surface, car on serait obligé d'introduire dans les chaudières de l'eau prise à la mer, et il se produirait des incrustations. Pour éviter cet inconvénient, on a recours pour préparer l'eau potable à l'emploi d'une chaudière spéciale désignée sous le nom de *bouilleur*, que l'on peut nettoyer aussi souvent qu'il est nécessaire.

Nous allons décrire deux appareils distillatoires, aujourd'hui très employés dans la marine française.

940. Appareil distillatoire Mourraille. — MM. Mourraille et Cie se sont inspirés des études de leurs devanciers, et

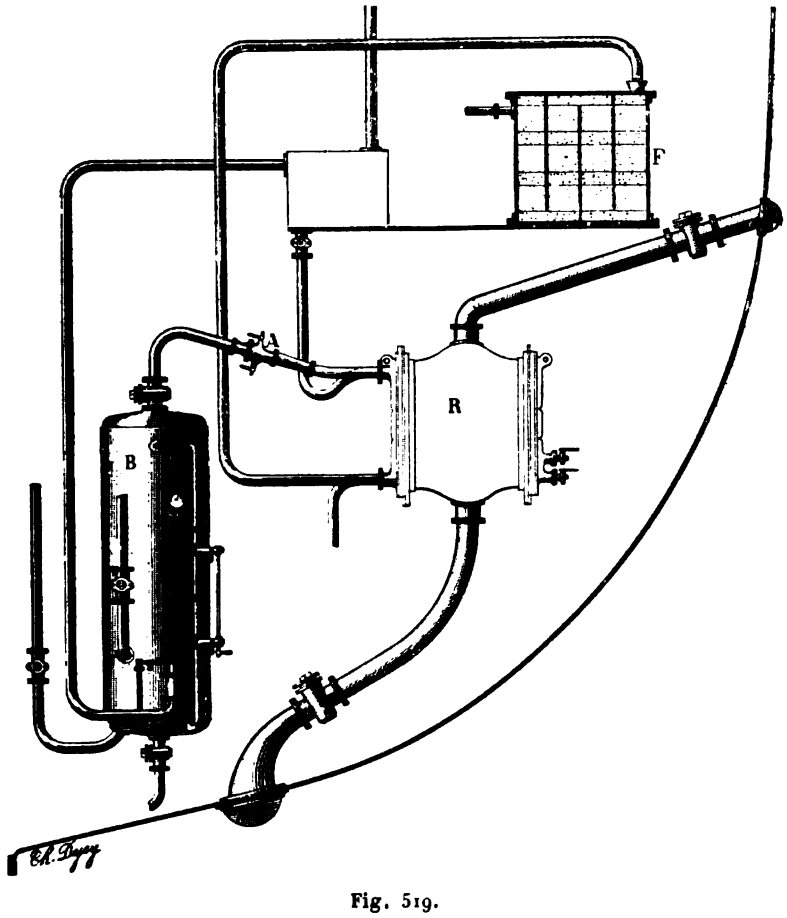


Fig. 519.

après divers essais et perfectionnements, sont arrivés à construire l'appareil représenté (fig. 519), qui comprend essentiellement un bouilleur B, un aérateur A, un réfrigérant R et un filtre F.

Le bouilleur B (fig. 520) est formé d'un récipient dans lequel se trouve un cylindre central *aa*, évasé en entonnoir et entouré par les serpentins de chauffage. Au-dessus se trouve un dia-

phragme ou écran *b* qui retient les gouttelettes d'eau que l'ébullition peut projeter.

La prise de vapeur est, dans les appareils à très grande production, précédée d'un épurateur C composé d'un tube légèrement conique, fixé dans un vase également conique, pourvu, à sa base, d'un tube de faible diamètre servant à l'écoulement des gouttelettes d'eau qui se séparent mécaniquement et, à son sommet, de la tubulure *d* de départ de la vapeur qui doit fournir l'eau potable.

Le bouilleur est pourvu d'un indicateur de niveau *e*, d'un tuyau d'alimentation *f* dont l'extrémité plonge dans le liquide, au centre de l'appareil, et enfin d'une tubulure *g* recevant un robinet qui permet de faire des extractions, comme dans les chaudières marines, et de diminuer ainsi les incrustations.

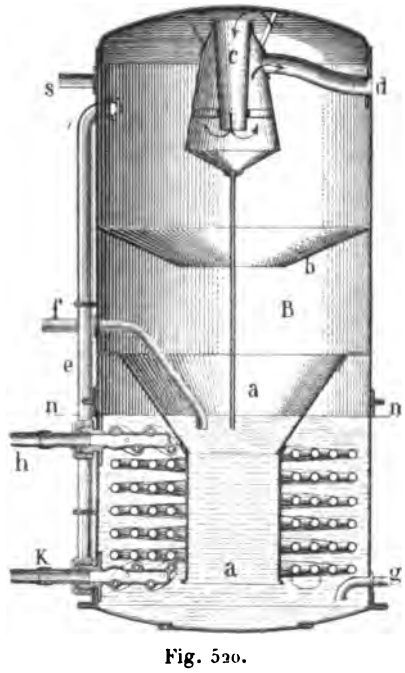


Fig. 520.

Pour faire fonctionner l'appareil, on remplit d'eau le bouilleur jusqu'à un niveau *nn*, en contre-bas de la grande base de l'entonnoir *a*. On fait arriver la vapeur dans les serpentins par la tubulure *h*, et l'eau condensée s'écoule par le tuyau *k*.

L'eau chauffée par les serpentins entre rapidement en ébullition tumultueuse. Le mélange d'eau et de vapeur passe entre le bord supérieur de l'entonnoir *a* et la paroi du bouilleur. Il se produit aussitôt un épanouissement brusque, la vapeur se dégage et l'eau retombe au centre, redescend dans l'entonnoir *a* et va passer de nouveau au contact des serpentins.

Le grand diamètre de la partie cylindrique de l'entonnoir

facilite beaucoup la circulation de l'eau. On remplace parfois les serpentins de vapeur par un faisceau de tubes. La disposition intérieure du bouilleur est alors quelque peu modifiée (fig. 521).

Deux cloisons horizontales H H′ recevant un faisceau de tubes de o,^{m}o5 de diamètre environ et traversées par le cylindre évasé *a*, isolent une chambre M dans laquelle circule la vapeur de chauffage. L'eau à distiller remplit l'intérieur des tubes et s'élève jusqu'au niveau *n n*, un peu en contre-bas du bord supérieur de l'entonnoir *a*.

De même que dans l'appareil à serpentins, l'eau mise en mouvement par l'ébullition descend constamment dans la région centrale et remonte à l'intérieur des tubes où elle se vaporise en partie.

On comprend facilement que, dans les appareils à faisceau tubulaire ou à serpentin, disposés comme il vient d'être dit, la circulation soit très active, et que par suite l'efficacité de la surface de chauffe se trouve augmentée. En outre, la disposition de l'entonnoir favorisant le déversement du liquide, et par conséquent la séparation de l'eau et de la vapeur permet, sinon d'éviter complètement les entraînements d'eau si fréquents quand on distille l'eau de mer, du moins de les diminuer considérablement.

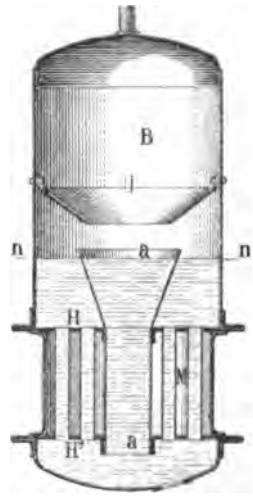


Fig. 521.

En raison de ces dispositions rationnelles, les constructeurs affirment qu'à surface de chauffe égale la production de vapeur dans leurs appareils peut être plus que double de celle que l'on obtenait dans les anciens, bien que la surface d'évaporation et le volume de la chambre de vapeur n'aient pas été augmentés.

La vapeur utilisée au chauffage du bouilleur venant de l'échappement des machines, l'eau qui provient de sa condensation a un goût nauséabond qui la rend impropre à la boisson; toutefois on recueille cette eau pour l'employer à d'autres usages,

tels que certains lavages, l'alimentation des chaudières, etc.

Le bouilleur lui-même étant constamment alimenté à l'eau de mer, il est évident qu'il faut faire des extractions périodiques comme nous l'avons indiqué au n° 882, de façon à maintenir toujours le degré de concentration au-dessous de 4° de l'aéromètre et à éviter ainsi les dépôts de sel.

En sortant de la chaudière, la vapeur produite traverse l'aérateur A (fig. 519), dans lequel la vapeur du bouilleur arrive par l'ajutage central avec une grande vitesse, et produit l'aspiration ainsi que l'entraînement d'une quantité d'air plus importante qu'il n'est nécessaire pour obtenir l'aération de l'eau. Cet air gênant la condensation, il convient de n'en pas introduire un trop grand excès dans le condenseur ; aussi, l'aspirateur est pourvu de robinets spéciaux qui permettent de régler à volonté le volume d'air appelé. L'air entraîné se mélange avec la vapeur et se retrouve en partie dissous dans l'eau condensée.

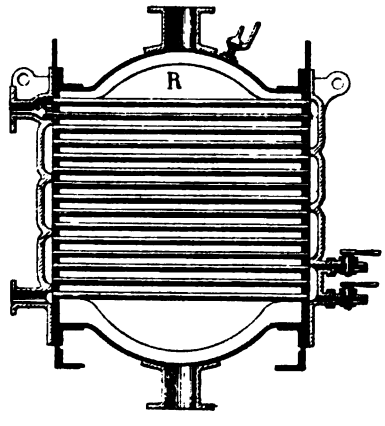


Fig. 522.

De l'aérateur, le mélange d'air et de vapeur se rend dans un réfrigérant R (fig. 522) à circulation méthodique dans lequel il descend en traversant successivement une série de faisceaux tubulaires horizontaux pendant qu'un courant d'eau froide enveloppant les tubes, circule de bas en haut et produit non seulement la condensation, mais encore un refroidissement suffisant de l'eau condensée. Il importe en effet que l'eau sorte froide, pour garder l'air qu'elle a dissous et pouvoir être consommée de suite ou emmagasinée, sans inconvénient, dans la cale à eau. Dans le cas où l'on doit refroidir l'eau provenant de la condensation de la vapeur employée au chauffage du bouilleur, le réfrigérant contient un second faisceau tubulaire spécialement réservé à cet effet.

A bord des navires, la circulation de l'eau de refroidissement est obtenue sans le concours d'aucun engin mécanique. On fait déboucher le tuyau d'arrivée sous la coque et le tuyau de décharge aussi haut que possible sous la ligne de flottaison. L'échauffement de l'eau suffit, si les tuyaux sont bien agencés, pour produire le courant nécessaire. En marche, ce courant est favorisé par l'orientation des coquilles d'entrée et de sortie d'eau; la coquille du bas ou d'entrée est tournée vers l'avant, celle du haut ou de sortie vers l'arrière.

Dans les embarcations de petites dimensions, la circulation est produite par le mouvement du bateau; à cet effet le tuyau d'arrivée d'eau débouche à l'avant, le tuyau de départ à l'arrière. D'autres fois le mouvement de l'eau peut être produit par une petite pompe centrifuge; ce dernier moyen est toujours employé pour les appareils établis à terre.

A sa sortie du réfrigérant R (fig. 519), l'eau destinée à la boisson passe dans le filtre F, composé de couches alternatives de noir animal et de pierres calcaires. L'eau se charge d'un peu de sels de chaux, ce qui la rend plus agréable à boire, en même temps que les matières empyreumatiques se détruisent par oxydation, en présence du noir animal, comme il a été dit (**939**).

La vapeur venant de la chaudière conserve après avoir traversé l'aérateur une pression suffisante pour élever à une certaine hauteur l'eau condensée; cela permet de placer le filtre à un niveau un peu supérieur à celui du reste de l'appareil, ce qui n'est pas sans présenter de grands avantages à bord des navires où les cales peuvent être fort encombrées. D'après les constructeurs, on pourrait élever l'eau à 2 mètres au-dessus du réfrigérant, lorsque la pression dans le bouilleur est seulement de $0^k,5$.

Dans ces derniers temps, MM. E. Mourraille et Cie ont ajouté à leur appareil distillatoire un alimentateur automatique qui règle de lui-même et d'une façon continue l'alimentation en eau de mer, l'extraction de l'eau concentrée et le débit de l'eau provenant de la condensation de la vapeur de chauffage.

Lorsque l'appareil de distillation est destiné à de petites

embarcations, on lui fait subir quelques légères modifications dans le but de restreindre l'emplacement qu'il occupe, mais le principe général et les parties essentielles restent les mêmes.

941. Appareil Normand. — L'appareil distillatoire du système Normand (fig. 523) comprend les mêmes organes essentiels que celui que nous venons d'étudier, mais il en diffère par la disposition de chacun d'eux.

Le bouilleur est horizontal et chauffé par un serpentin; il se

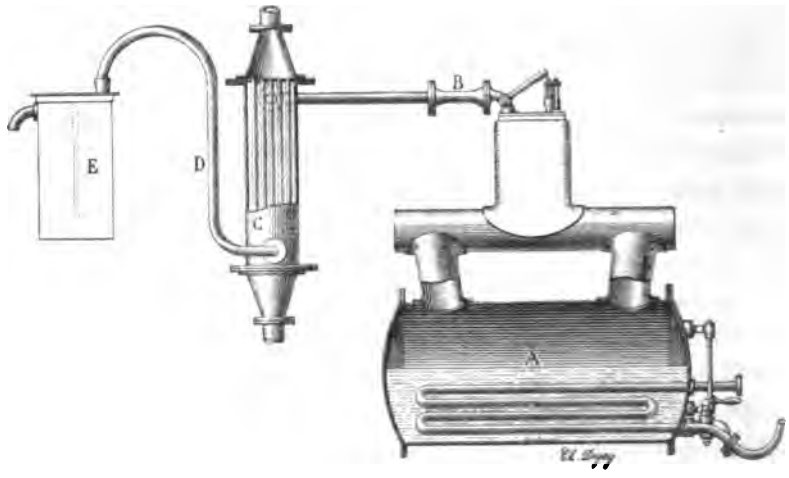


Fig. 523.

compose d'un corps cylindrique principal A ayant, dans l'appareil que nous représentons, une longueur de 1 mètre environ et surmonté d'un petit cylindre formant chambre de vapeur; ce dernier, réuni au corps principal par deux larges tubulures, est lui-même surmonté d'un dôme plat d'où part la vapeur à condenser.

Ces dispositions ont pour but d'éviter les entraînements d'eau salée. Après sa sortie du bouilleur, la vapeur traverse un aérateur B analogue à celui précédemment indiqué et, de là, se rend dans un réfrigérant C ou condenseur à circulation méthodique. Ce condenseur est formé d'un faisceau de tubes disposé comme celui des chaudières tubulaires et présentant sous un faible volume une grande surface de refroidissement. Afin de faciliter le

nettoyage et l'enlèvement des dépôts, l'eau froide servant à la condensation circule à l'intérieur des tubes.

Enfin l'eau recueillie à la partie inférieure du condenseur se rend par le tuyau D au filtre E. où elle se débarrasse des matières organiques qui l'accompagnent et dissout quelques sels calcaires.

Nous ferons remarquer que, dans la disposition générale de l'appareil, le condenseur peut être installé à un niveau quelconque par rapport au bouilleur, tandis que le filtre, toujours placé au-dessus du condenseur, doit être établi à une hauteur telle que la colonne d'eau distillée qui sépare ces deux organes ne dépasse pas notablement $1^m,50$.

D'après M. Normand, l'appareil représenté (fig. 523) pèse, à vide, 260 kilogrammes et permet de distiller 3,800 litres d'eau en vingt-quatre heures.

§ II

DISTILLATION DES LIQUIDES MÉLANGÉS.

942. Cette opération a pour but de séparer, sous l'action de la chaleur, plusieurs liquides mélangés qui ne se vaporisent pas à la même température. Comme nous le verrons bientôt, cette séparation ne s'effectue pas aussi facilement que dans le cas où le liquide renferme seulement des sels fixes, car le point d'ébullition des liquides les plus volatils se trouve retardé, et les vapeurs condensées contiennent toujours une certaine proportion des autres liquides. Pour arriver à une séparation de plus en plus complète, il faut opérer plusieurs distillations successives ou avoir recours à des appareils spéciaux.

DISTILLATION DE L'ALCOOL.

943. L'alcool s'extrait en général de mélanges aqueux, qui sont soit les vins de raisin, soit ceux qu'on prépare à l'aide de liquides sucrés soumis à l'action de ferments alcooliques Quelle que soit la provenance du vin, l'opération à effectuer consiste

toujours à séparer l'alcool de l'eau et des autres substances qui l'accompagnent.

Le procédé d'abord employé consistait à se servir de l'alambic ordinaire. Mais lorsqu'on essaie de séparer l'alcool à l'aide de cet appareil, on reconnaît qu'il est impossible d'y arriver en une seule fois, quelles que soient les circonstances de l'opération.

La distillation d'un vin renfermant 10 parties d'alcool et 90 parties d'eau fournit une vapeur qui contient seulement de 30 à 35 p. 100 d'alcool. La température d'ébullition du mélange reste comprise entre 78°,4 et 100 degrés, températures respectives de vaporisation de chacun des deux liquides pris séparément.

Pour avoir un liquide plus riche en alcool, il faut distiller à nouveau le produit extrait du condenseur à la suite de l'opération précédente. Ce liquide contient 30 à 35 p. 100 d'alcool et donne une vapeur qui en renferme de 50 à 58 p. 100, et qui, par sa condensation, donnera de l'eau-de-vie ordinaire du commerce.

Chaque distillation augmente la teneur en alcool du liquide condensé et, en répétant cette opération un nombre de fois suffisant, on finirait par obtenir de l'alcool pur.

En général, il suffit de soumettre un vin à deux distillations successives, pour préparer de l'eau-de-vie renfermant environ 55 p. 100 d'alcool. Il y aurait lieu d'effectuer une troisième distillation si l'on voulait obtenir un liquide dont le degré fut plus élevé.

Mais il est possible d'obtenir plus rapidement un tel produit en interposant entre la chaudière et le serpentin de l'alambic ordinaire un récipient ou *vase analyseur*, dans lequel se condensent les vapeurs les plus aqueuses.

Le liquide ainsi séparé retourne directement dans la chaudière, tandis que les vapeurs plus riches en alcool se rendent dans le serpentin ou elles se condensent en totalité sous l'influence d'un courant continu d'eau froide circulant méthodiquement.

Le procédé des vaporisations et condensations successives exige beaucoup de main-d'œuvre et entraîne une grande dépense de combustible. Il n'est plus guère employé aujourd'hui que dans quelques régions, où l'on cherche à développer et à con-

server l'arome particulier qui constitue la valeur réelle de certaines eaux-de-vie fines et qu'on s'attache à obtenir même au prix d'une consommation exagérée de combustible.

Dans la distillation des vins ordinaires on a plutôt intérêt à éliminer les huiles essentielles; aussi, emploie-t-on les appareils spéciaux qui permettent d'opérer beaucoup plus économiquement.

944. Quantité de chaleur nécessaire pour obtenir de l'eau-de-vie. — On sait que la chaleur latente de vaporisation de l'alcool est 213 calories, c'est-à-dire un peu moins des deux cinquièmes de celle de l'eau, et que la chaleur spécifique de l'alcool est 0,645.

Prenons 10 kilogrammes de vin renfermant 10 p. 100 d'alcool et soumettons-les à la distillation, de manière à en extraire tout l'alcool.

La première opération nous donnera un liquide alcoolique renfermant environ 30 p. 100 d'alcool. Le poids d'alcool dans le liquide primitif était de 1 kilogramme, le poids d'eau dans le liquide distillé sera $\frac{70}{30} = 2^k,33$. On aura obtenu ainsi un mélange de 1 kilogramme d'alcool avec $2^k,33$ d'eau.

La distillation s'effectuant à 95°, la chaleur dépensée sera :

vaporisation de 1 kilogr. d'alcool.		213^{cal}
chauffage de cet alcool.	$0,622 \times 95 =$	61
vaporisation de l'eau	$2,33 \times 635,5 =$	1481
chauffage de $6^k,67$ d'eau à 100°.		667
		2422^{cal}

Par la distillation de ces $3^k,33$, on aura de l'eau-de-vie renfermant environ 50 p. 100 d'alcool, c'est-à-dire 2 kilogrammes d'un mélange, contenant 1 d'alcool et 1 d'eau. La dépense sera :

vaporisation de 1 kilogr. d'alcool.	213
chauffage de cet alcool à 85°.	55
vaporisation de 1 kilogr. d'eau.	632
chauffage de l'eau qui reste.	133
	1033

Pour obtenir 2 litres d'eau-de-vie, on a donc dépensé :

$$2422 + 1033 = 3455 \text{ calories.}$$

945. Pour obtenir par une opération unique de l'alcool à un degré déterminé et pour éviter les complications et les dépenses qui sont la conséquence des distillations successives, on a établi des appareils dont la construction est basée sur les faits suivants que l'expérience a fait connaître.

1° Quand on chauffe un liquide formé d'un mélange d'eau et d'alcool, il s'en dégage une vapeur renfermant proportionnellement plus d'alcool que le liquide qui lui a donné naissance.

2° Si un mélange de vapeur d'eau et de vapeur d'alcool à une certaine température rencontre un liquide alcoolique à une température moindre, il y a condensation de vapeur d'eau, et la chaleur abandonnée dans ce changement d'état vaporise une certaine quantité d'alcool. La vapeur non condensée contient donc, par cette double cause, une plus forte proportion d'alcool que la vapeur primitive et s'enrichit, tandis qu'au contraire le liquide, auquel vient s'ajouter l'eau condensée et qui perd d'ailleurs une certaine proportion d'alcool, s'appauvrit.

3° Quand on refroidit progressivement un mélange de vapeurs d'eau et d'alcool, les premiers produits de la condensation sont plus aqueux que ceux qui seulement se déposent après que la température s'est abaissée davantage.

Ces principes ne furent établis que progressivement, et les premiers appareils dans lesquels on essaya de les appliquer étaient très compliqués.

946. Vers 1780, Argand avait établi un appareil dans lequel se trouvait appliqué le troisième principe.

Imaginons qu'entre la chaudière et le condenseur de l'alambic ordinaire, on interpose, au lieu du vase analyseur dont nous avons parlé (**943**), un serpentin condenseur que la vapeur parcourt d'abord en montant. Il se produit une condensation partielle, et les premiers liquides condensés sont les plus aqueux ; ils sont ramenés à la chaudière par un tuyau spécial. La vapeur devient de plus en plus chargée d'alcool à mesure qu'elle s'élève.

La richesse est d'autant plus grande que le serpentin est plus long.

L'alcool qui reste à l'état de vapeur se rend alors dans un second serpentin convenablement refroidi, où il se condense à son tour. On fractionne suivant leur richesse les produits recueillis dans le serpentin aux diverses phases de l'opération.

Le liquide en traitement devient de moins en moins riche et la production d'alcool va en diminuant pour devenir presque nulle à la fin de l'opération. Il ne reste plus alors dans la chaudière que de l'eau légèrement alcoolisée.

Ce procédé est très imparfait, car il est reconnu que si, quand on fait bouillir un vin, l'alcool et l'eau se séparent assez régulièrement, au contraire, les vapeurs mélangées se condensent presque simultanément à une même température.

947. Lavoisier avait eu l'idée de supprimer les distillations successives et d'obtenir, par une opération unique, de l'alcool au degré de concentration le plus élevé possible ; mais c'est E. Adam qui, en 1801, réalisa le premier appareil pratiquement employé et qui est fondé sur les deux premiers principes que nous avons indiqués ci-dessus.

Cet appareil se compose d'une chaudière suivie d'une série de récipients et d'un condenseur disposé comme celui d'un alambic ordinaire.

Au début de chaque opération, on charge du liquide alcoolique à traiter la chaudière et les récipients. Quand on chauffe le liquide contenu dans la chaudière, le mélange de vapeurs d'eau et d'alcool dégagé se rend, par un tuyau plongeur, dans le premier vase dont il échauffe le liquide en se condensant. Lorsque l'échauffement est produit surtout de la vapeur d'eau qui se condense.

Dès que le liquide du premier récipient est suffisamment échauffé, il s'en dégage un mélange de vapeurs d'eau et d'alcool plus riche que le premier. Si on conduit ce mélange dans le second vase, il se condensera encore de l'eau, et les vapeurs qui se dégageront seront encore plus riches en alcool que les précédentes. On conçoit donc qu'avec un nombre suffisant de récipients successifs on puisse obtenir dans le serpentin placé en queue, de l'alcool à un degré déterminé.

Le liquide épuisé ou vinasse qui forme le résidu de la distillation est extrait de la chaudière. On fait alors avancer d'un rang les liquides des divers vases; on introduit du liquide neuf dans celui qui précède immédiatement le condenseur et on continue l'opération. Quand le liquide de la chaudière se trouve épuisé de nouveau, on opère comme il vient d'être dit, et ainsi de suite, de manière à toujours obtenir un épuisement complet de la vinasse qu'on extrait de la chaudière.

Lorsqu'on ne veut pas pousser la concentration jusqu'au degré maximum que peut fournir l'appareil, on réunit les produits de la distillation des derniers vases, et on obtient de l'alcool moins concentré.

L'appareil Adam, qui a marqué un grand progrès dans l'art de la distillation, est abandonné depuis longtemps, parce qu'il exige trop de main-d'œuvre et que le travail n'y est pas absolument continu.

Les récipients successifs sont aujourd'hui remplacés par un appareil plus simple connu sous le nom de colonne distillatoire, et dans lequel on fait circuler le liquide à distiller sur des plateaux superposés, au contact et en sens inverse de la vapeur.

948. Appareil Cellier-Blumenthal et Derosne. — Dans cet appareil, le travail est continu; de plus on utilise mieux la chaleur en employant comme liquide réfrigérant le vin à distiller.

Cet appareil (fig. 524) se compose de deux chaudières étagées A′ et A, dont la seconde est surmontée d'une colonne distillatoire B, à la suite de laquelle sont disposés d'abord un condenseur D, puis un réfrigérant F et enfin un récipient H, destiné à recevoir l'alcool au fur et à mesure de sa production.

Le liquide alcoolique contenu dans la chaudière A′ est chauffé directement par un foyer, tandis que celui que renferme la chaudière A est porté à l'ébullition à la fois par les gaz chauds du foyer desservant la chaudière A′ et par les vapeurs qui se dégagent de cette dernière.

Les vapeurs alcooliques formées dans la chaudière A se rendent dans la colonne distillatoire constituée par un cylindre vertical renfermant une série de plateaux superposés à bords relevés; chacun de ces plateaux est percé en son centre d'un

trou et surmonté d'une calotte de diamètre un peu plus faible que le sien.

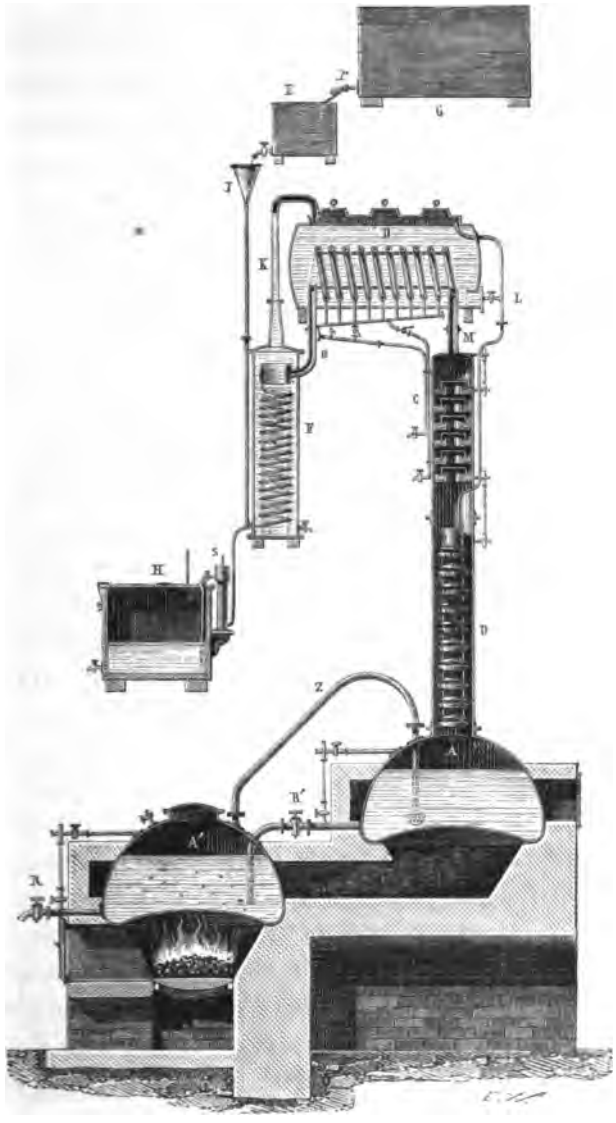


Fig. 524.

De cette façon, si on fait couler du vin dans le plateau supérieur, il tombera sur la calotte du second plateau en la cou-

vrant d'une mince couche liquide, puis, par le trou central du deuxième plateau, il descendra sur la deuxième calotte et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il arrive enfin dans la chaudière A.

Les vapeurs alcooliques s'élèvent dans la colonne distillatoire et s'enrichissent au contact du vin à distiller; celui-ci, déjà échauffé par son passage autour des serpentins du condenseur chauffe-vin D, est introduit dans la colonne à peu près à mi-hauteur et descend de plateau en plateau jusque dans la chaudière.

A la partie supérieure de la colonne, les vapeurs alcooliques rencontrent une seconde série de plateaux alimentés par une partie des produits condensés dans le chauffe-vin. Ces plateaux portent en leur centre un rebord annulaire recouvert par un chapeau qui plonge dans le vin; pour passer d'un plateau à l'autre, les vapeurs sont donc obligées de barboter à travers le liquide qui s'écoule, d'étage en étage, par de petits ajutages placés près des parois de la colonne et non représentés sur la figure.

Les vapeurs traversent ensuite le condenseur D, puis se rendent au réfrigérant par le conduit O; l'alcool condensé s'emmagasine dans le récipient H. S'il arrive que le degré ne soit pas suffisant on peut, au moyen d'une tuyauterie spéciale, ramener sur les plateaux de la colonne distillatoire les vapeurs condensées dans les premières spires du condenseur D.

Le vin à distiller parcourt le même chemin que les vapeurs, mais en sens contraire. On commence par l'élever dans un réservoir G, de là il s'écoule dans la caisse E par le robinet *r* pourvu d'un flotteur règle l'alimentation, puis, par le tuyau I, il gagne la partie inférieure du condenseur; il s'échauffe au contact du serpentin, s'élève dans le tuyau K pour se déverser dans le réfrigérant D, où il continue à s'échauffer et se rend enfin par le conduit L dans la colonne distillatoire, où il coule de plateau en plateau et s'appauvrit de plus en plus à mesure qu'il descend; le liquide pauvre se rend enfin dans les chaudières A et A', où l'ébullition achève de l'épuiser. On voit que dans ces appareils tous les liquides, excepté la vinasse, ne sortent qu'à une température relativement basse. Toute la chaleur de vaporisation étant utilisée, le fonctionnement est économique; en outre, on obtient

de l'alcool au degré que l'on veut. Pour mettre l'appareil en marche, on remplit directement les chaudières A et A', on chauffe et on commence l'alimentation continue dès que le régime est établi.

On a imaginé un grand nombre de dispositions ayant pour but d'augmenter les surfaces de contact de la vapeur avec le liquide. Nous allons en décrire quelques-unes.

949. Appareil Cail. — La maison Cail, qui construisait autrefois l'appareil de Cellier-Blumenthal, lui a fait subir des modifications importantes pour en simplifier le fonctionnement, et est arrivée ainsi à constituer le type d'appareil distillatoire qu'elle a présenté à l'Exposition Universelle de 1889. Cet appareil (fig. 525) comporte essentiellement : une chaudière A, une colonne distillatoire C, un condenseur D, et enfin un réfrigérant R.

La chaudière A est chauffée à la vapeur, ce qui permet d'obtenir une marche très régulière . A cet effet, deux cloisons horizontales formant plaques tubulaires, réunies par un grand nombre de tubes de 0,05 de diamètre et par un cylindre central de 0,25, isolent une chambre que remplit la vapeur de chauffage, tandis que le vin circule à l'intérieur des tubes.

Le dôme de la chaudière est surmonté d'une colonne de distillation carrée C, composée d'une série de tronçons superposés (fig. 526-527), tous semblables comprenant chacun deux cloisons ajourées sur lesquelles circule en descendant progressivement le vin à distiller. Chacune de ces cloisons est percée d'ouvertures rectangulaires très allongées, dont les bords sont relevés de manière à retenir une certaine quantité de liquide; au-dessus de ces ouvertures sont placés des chapeaux plongeant légèrement dans le vin de manière que, pour se dégager, les vapeurs alcooliques venues de la chaudière sont obligées de barboter dans ce vin. Dans l'un des angles, et alternativement disposée à droite et à gauche en passant d'un plateau à l'autre, se trouve une ouverture plus petite que les précédentes, garnie d'un ajutage qui plonge dans le liquide du plateau inférieur. Cet orifice sert de trop-plein et ses rebords sont à cet effet moins élevés que ceux des autres ouvertures. On voit que, grâce à

cette disposition, le vin qui arrive de la partie supérieure de la colonne parcourt en zigzag toute la surface des plateaux, ce qui assure son parfait contact avec les vapeurs alcooliques; il descend, comme nous l'avons expliqué dans l'appareil précédemment décrit, puis s'écoule continuellement par le fond de la chaudière. Si la marche de l'opération est bien réglée, le liquide sortant ne doit plus contenir aucune trace d'alcool; on le désigne alors sous le nom de vinasse. Cette vinasse est évacuée par un tuyau Z qui se relève jusqu'au-dessus du niveau du liquide dans la chaudière, de sorte qu'elle ne s'écoule que sous l'influence de la pression existant à l'intérieur des appareils (environ $0^m,60$ d'eau).

Le sommet du siphon renversé Z est ouvert à l'air libre afin d'éviter qu'il ne puisse s'amorcer et vider ainsi complètement la chaudière.

Les vapeurs qui se dégagent du liquide contenu dans la chaudière A (fig. 525) s'élèvent d'abord dans la colonne ; puis elles se rendent au condenseur chauffe-vin D, composé d'un réservoir fermé dans lequel se trouve une série de tubes horizontaux reliés en serpentin et dans lesquels la vapeur passe successivement en descendant. Ce serpentin est refroidi par le vin à distiller; ce vin, d'abord élevé dans le réservoir V, s'écoule par le tuyau à siphon renversé G, traverse le condenseur D et arrive par le conduit E dans la colonne distillatoire dont il parcourt les deux tiers inférieurs.

Les moins riches des liquides condensés dans le serpentin du chauffe-vin font retour par trois tuyaux F'F''F''' aux plateaux supérieurs de la colonne et redescendent jusqu'au bas en cédant leur alcool aux vapeurs montantes qu'ils rencontrent. Il faut remarquer que ces liquides sont ramenés à un niveau d'autant plus élevé, qu'ils sont pris en un point plus refroidi du condenseur. Le degré de concentration que l'on veut obtenir fixe le nombre de retours qu'on laissera ainsi ouverts.

Les vapeurs qui ont traversé le chauffe-vin D se rendent au réfrigérant R, constitué par une caisse munie de tubes disposés en faisceaux superposés et parcourus par le liquide réfrigérant. Une

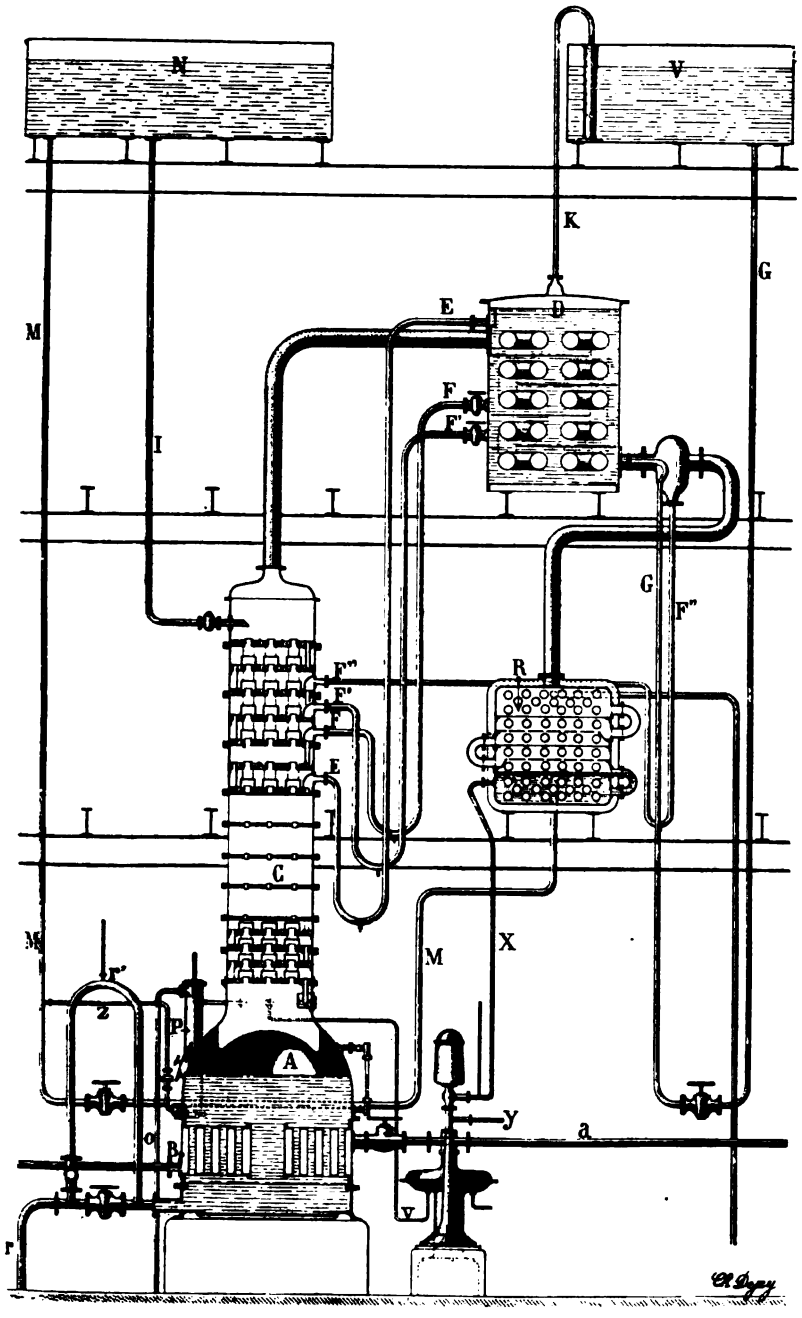


Fig. 525.

série de chicanes horizontales forcent les vapeurs alcooliques à circuler autour de ces tubes, de manière à obtenir un refroidissement à peu près méthodique. On recueille à la sortie des flegmes qui peuvent marquer de 60° à 95° centésimaux.

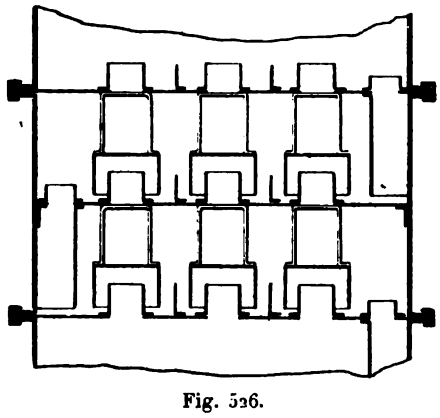


Fig. 526.

Le liquide froid employé dans le réfrigérant peut être le vin, s'il est pauvre en alcool ; mais le plus souvent les vapeurs sont trop abondantes pour pouvoir être ainsi condensées et l'on est forcé de refroidir avec de l'eau ; c'est la disposition représentée sur la figure.

L'alcool recueilli se rend par le tube X à l'éprouvette d'essai, et est enfin envoyé par le tuyau Y dans les fûts où on l'emmagasine.

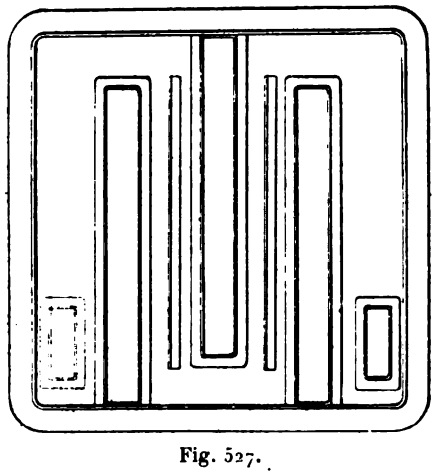


Fig. 527.

Quant à l'eau nécessaire au refroidissement et aux divers lavages, elle est renfermée dans un réservoir supérieur N, et distribuée au réfrigérant par le tuyau M muni du branchement Z destiné à fournir l'eau nécessaire au lavage de la chaudière.

L'appareil Cail comprend encore quelques dispositions accessoires qui sont : sur la chaudière, un indicateur de niveau à tube de verre, un trou d'homme, un robinet de vidange, etc. ; sur la colonne, un tuyau I d'arrivée d'eau situé à la partie supérieure et servant pour le

lavage et, de plus, un certain nombre de tampons autoclaves permettant le nettoyage et la visite des plateaux ; sur le condenseur, un tube K ramenant au réservoir à vin les vapeurs qui pourraient se dégager du liquide traversant cet appareil.

Enfin un réfrigérant spécial P, installé à côté de la chaudière, permet de condenser une petite quantité des vapeurs qui se dégagent de cette dernière et de surveiller ainsi la marche de l'opération. Ce réfrigérant est parcouru par un courant d'eau froide qui s'échappe par le conduit O.

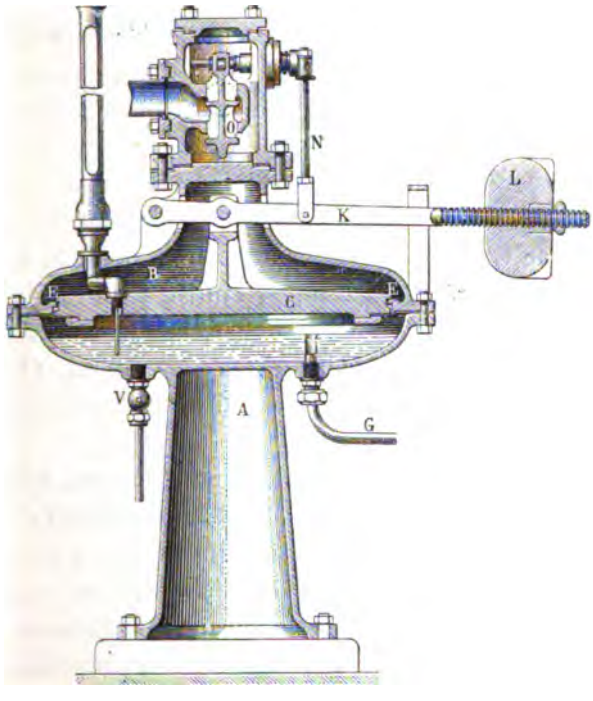


Fig. 528.

La chaudière de distillation est chauffée à l'aide d'un courant de vapeur, afin de maintenir plus facilement la température constante nécessaire pour obtenir des produits de bonne qualité et pour assurer la marche régulière des appareils.

L'emploi de la vapeur ne suffit cependant pas pour conserver une même température à la base de la colonne pendant toute la

durée de l'opération, il faut de plus que la pression ne varie pas dans la chaudière A. Aussi règle-t-on l'admission de la vapeur dans celle-ci au moyen d'un régulateur spécial, semblable aux détendeurs dont nous avons donné déjà la description (**838** à **841**), mais beaucoup plus sensible que ces derniers.

Ce régulateur (fig. 528) est établi de la manière suivante :

Un socle A, présentant à sa partie supérieure une cuvette, supporte une calotte B surmontée d'un cylindre renfermant un système de soupapes équilibrées O destiné à régler le débit de vapeur; la cuvette est fermée par un plateau mobile C qui lui est assemblé au moyen d'un anneau très flexible de caoutchouc E, et dont la course est limitée à 0,005 par une rainure pratiquée sur toute sa circonférence. La face inférieure du plateau C est soumise à la pression des vapeurs de la chaudière, pression qui se transmet par l'intermédiaire du tube G; sur la face supérieure agit le levier K chargé d'un poids L. Si la pression tend à monter, le plateau C se soulève et, au moyen de la bielle N, soulève la soupape équilibrée O et diminue l'introduction de vapeur; si la pression tend au contraire à baisser, la soupape s'ouvre davantage et la vapeur est admise plus largement. On règle la pression de régime de l'appareil de distillation en plaçant convenablement le poids L.

La pression à la base de la colonne distillatoire est indiquée par un manomètre disposé sur la calotte B; celui-ci est formé d'un tube en verre ouvert à sa partie supérieure et relié à sa partie inférieure, par un tube en caoutchouc, avec un petit ajutage traversant le plateau C et plongeant dans l'eau de condensation qui vient se déposer dans la cuvette du régulateur.

Un robinet de vidange V permet de vider la cuvette lorsque cela devient nécessaire.

950. L'appareil Savalle, que nous allons décrire, est employé pour la distillation des moûts provenant de la fermentation des grains; il figurait comme le précédent à l'Exposition Universelle de 1889. Dans cet appareil (fig. 529) il n'y a pas de chaudière et le chauffage se fait directement par la vapeur d'eau que l'on introduit, à pression constante, à la base de la colonne

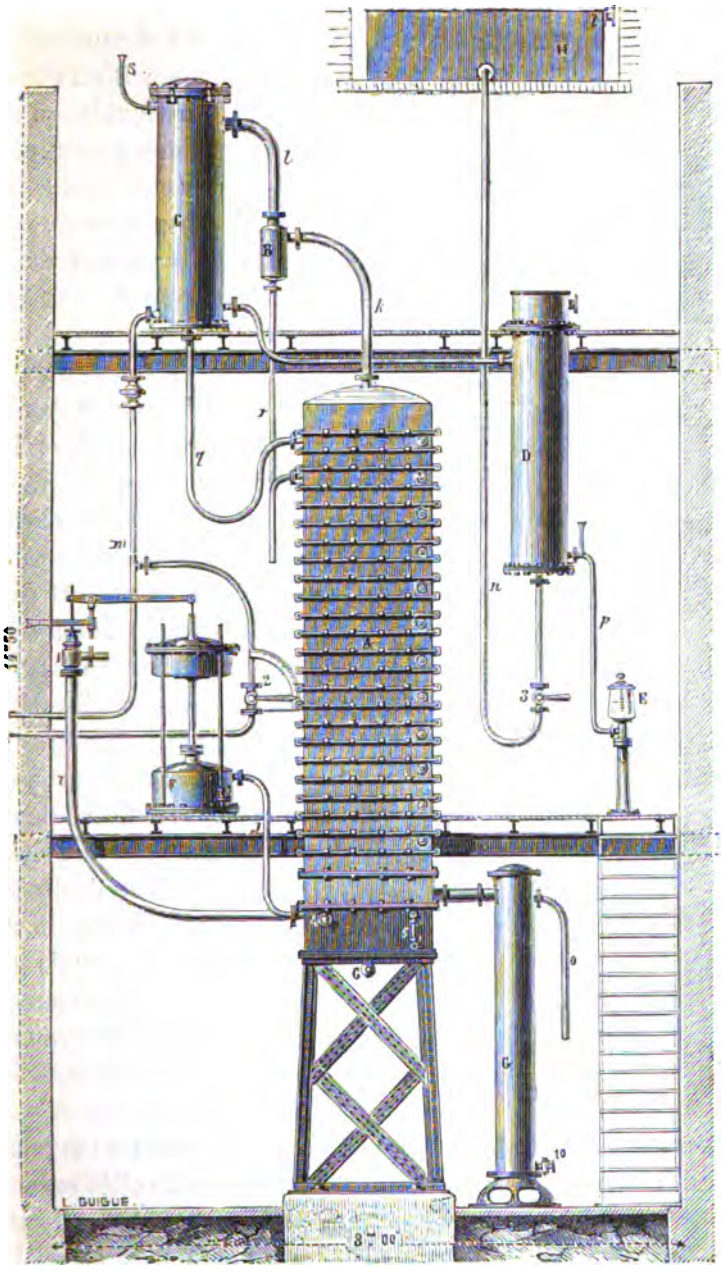


Fig. 529.

distillatoire. Les vapeurs alcooliques parcourent de bas en haut cette colonne en s'enrichissant de plus en plus à mesure qu'elles s'élèvent; elle traversent ensuite le brise-mousse B où elles se séparent du liquide qu'elles ont pu entraîner, puis pénètrent dans le chauffe-vin C et, enfin, circulent dans un réfrigérant D; les produits de leur condensation se rendent à l'éprouvette E.

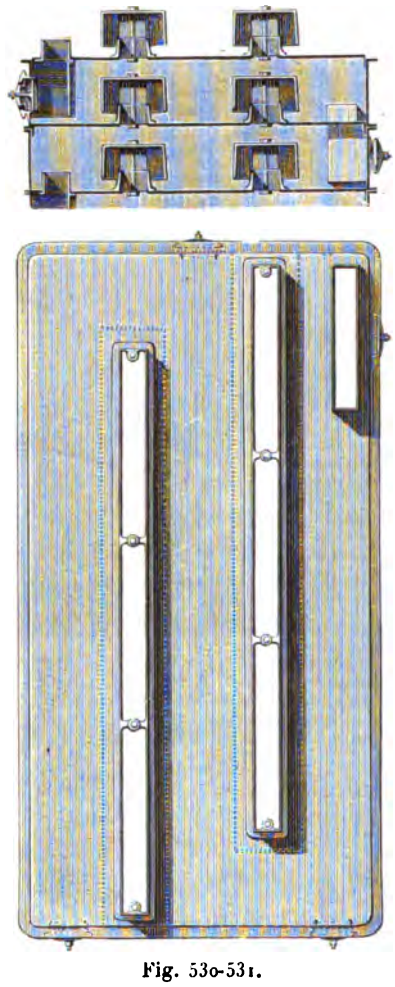


Fig. 530-531.

Le moût suit à peu près le même chemin que la vapeur, mais en sens contraire; il est refoulé par le tuyau *m*, à la base du condenseur chauffe-vin C, qu'il parcourt en montant, s'échauffe et sort par le tuyau *q* pour se rendre à la colonne distillatoire dans laquelle il descend de plateau en plateau tout en s'épuisant.

Le moût épuisé sort par le tuyau O sous l'action de la pression existant dans la colonne.

La vapeur d'eau destinée au chauffage arrive par la soupape 1 du régulateur de pression que nous décrirons plus loin et parcourt le tuyau *i* qui l'amène à la partie inférieure de la colonne A.

Celle-ci est formée d'une série de tronçons rectangulaires dont les bords sont rabattus extérieurement et reliés ensemble par des pinces en acier. Chaque tronçon porte un plateau (fig. 530-531) percé de deux ouvertures longitudinales dont les bords relevés constituent deux lignes de chicanes que le moût

est forcé de contourner pour passer d'un plateau au suivant.

Chaque ouverture est recouverte d'un chapeau qui oblige les vapeurs qui s'élèvent à traverser successivement les diverses couches liquides qui circulent sur les plateaux. Chacun des plateaux est pourvu d'une ouverture rectangulaire pratiquée dans un angle et servant de trop-plein. La hauteur des bords relevés de cette ouverture limite l'épaisseur de la couche liquide qui recouvre le plateau. Pour empêcher le passage de la vapeur par le trop-plein, on le prolonge par un conduit dont l'extrémité plonge dans le liquide du plateau inférieur. Comme les ouvertures de trop-plein sont diagonalement opposées pour deux étages consécutifs, le vin, avant de s'écouler d'un plateau sur le suivant, est forcé de parcourir le chemin sinueux bordé par les chicanes. Des regards pourvus de tampons permettent de visiter et de nettoyer les plateaux sans qu'on soit obligé de démonter la colonne.

L'eau provenant de la condensation de la vapeur employée au chauffage du moût est recueillie à la partie inférieure de la colonne distillatoire dans un réservoir en fonte posé sur le bâti et muni d'un tube de niveau 5, d'un robinet de purge 6 et d'un « reniflard » 4 destiné à laisser rentrer l'air dans le cas où la pression tomberait accidentellement au-dessous de celle de l'atmosphère.

Les vapeurs alcooliques qui sortent de la colonne par le tuyau *k* entraînent toujours avec elles un peu de moût, en raison du peu de fluidité de ce produit. On les en débarrasse en les faisant arriver normalement à la partie supérieure d'un récipient B, dit brise-mousse, dont la section est beaucoup plus considérable que celle du tuyau K; les mousses tombent au fond, s'affaissent et fournissent un liquide qui retourne à la colonne A par le tuyau Z.

Le condenseur chauffe-vin C qui fait suite au brise-mousse est tubulaire; le moût y arrive par le tuyau *m*, circule à l'intérieur des tubes, tandis que les vapeurs alcooliques passent autour, et sort par le tuyau *q*.

Ces vapeurs et le liquide déjà condensé se rendent ensuite au

réfrigérant D, tubulaire comme le chauffe-vin et dans lequel circule un courant d'eau froide fournie par un réservoir H. Comme nous l'avons dit, le liquide alcoolique se rend à l'éprouvette E et de là aux réservoirs où il doit être emmagasiné.

Afin de permettre d'éliminer d'une façon continue les vinasses, (résidus épuisés de la distillation) sans perte de vapeur, le tuyau d'évacuation forme plongeur et descend jusque vers le bas d'un réservoir cylindrique G (fig. 532) à la partie supérieure duquel s'échappe la vinasse. Dans d'autres cas, le tuyau arrive à la partie supérieure du réservoir G qui est alors partagé par une cloison verticale en deux chambres communiquant par le bas et formant un siphon renversé ; la distance verticale entre la base du plongeur et l'orifice d'échappement des vinasses est supérieure à la hauteur d'une colonne de vinasse correspondant à la pression de la vapeur dans la colonne distillatoire.

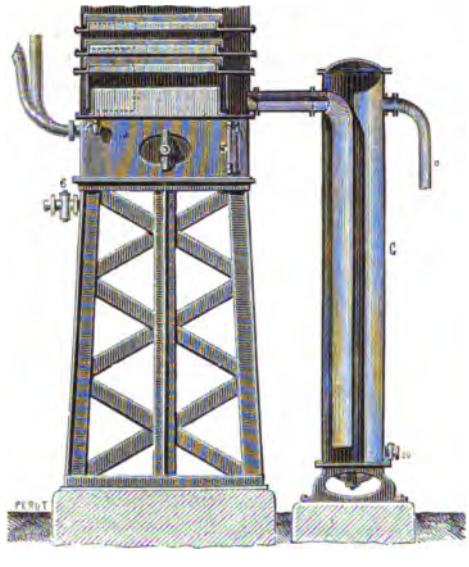


Fig. 532.

Nous avons dit que la pression de la vapeur était réglée par un régulateur de pression, dont la grande sensibilité contribue beaucoup au bon fonctionnement des appareils Savalle.

Ce régulateur (fig. 533) se compose de deux réservoirs A et B superposés; la partie inférieure de ce dernier est prolongée par un tube vertical pénétrant dans un autre tube qui descend jusqu'au fond du réservoir A. Celui-ci est relié avec le bas de la colonne distillatoire par un tuyau branché sur la tubulure F. Le réservoir B est ouvert à l'air libre et renferme un flotteur C

qui, par l'intermédiaire du levier D, commande la soupape E de distribution de vapeur.

La tension de la vapeur dans la colonne distillatoire se transmet, au moyen du tuyau F, dans le réservoir A en partie rempli

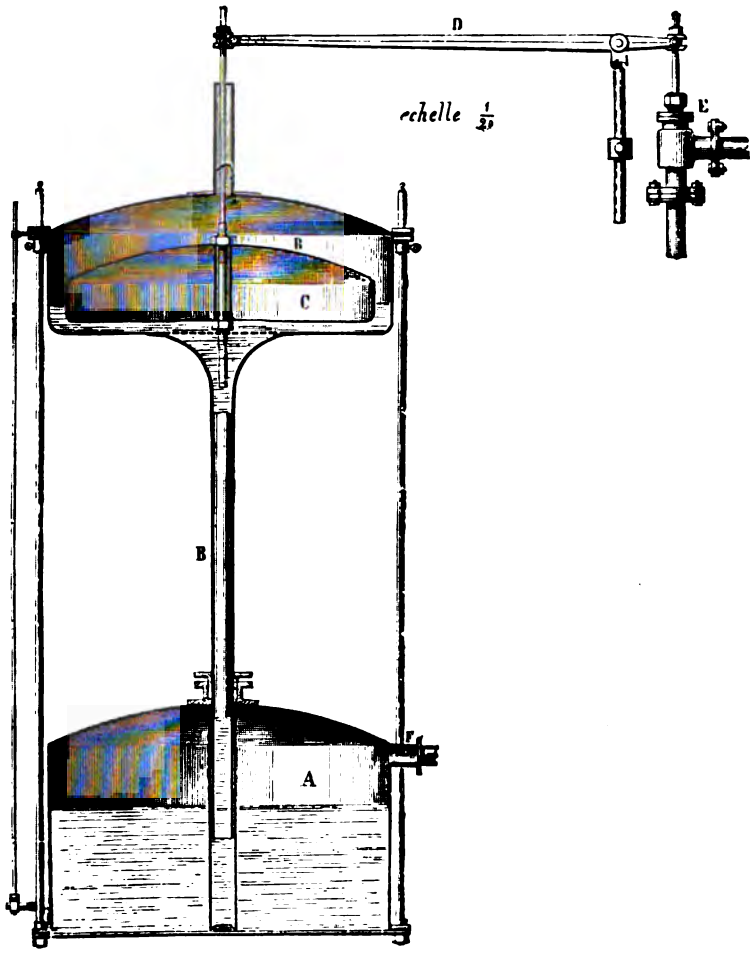


Fig. 533.

d'eau et fait monter le liquide dans le réservoir B, à un niveau dépendant de la pression. Selon que le niveau s'abaisse ou s'élève dans la caisse B, le flotteur détermine l'ouverture ou la fermeture de la soupape d'admission de vapeur.

Afin de pouvoir opérer à des pressions différentes, le réservoir C est porté par quatre tiges verticales, sur lesquelles il est maintenu par des vis de serrage à la hauteur correspondant à la pression qu'on veut obtenir à la base de la colonne. Pour permettre ces mouvements, le tube B passe dans le presse-étoupe du tube plongeur du réservoir A. Un tube de verre placé latéralement indique à chaque instant le niveau de l'eau dans le régulateur.

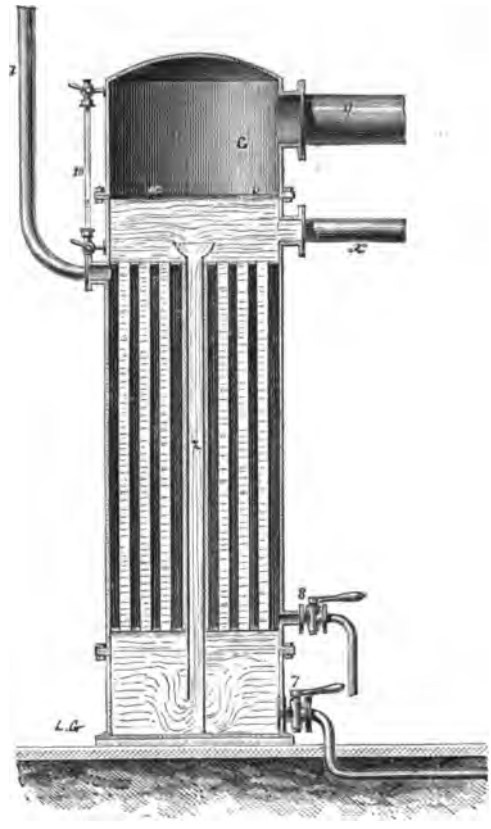


Fig. 534.

On peut à l'aide de cet appareil régler la pression avec une grande précision. D'après M. Savalle, les variations ne dépasseraient pas un millième d'atmosphère.

Lorsqu'on traite un vin de mélasse il y a grand intérêt à ne pas y ajouter d'eau, parce que la vinasse qui forme le résidu de l'opération sera concentrée pour servir à la fabrication de la potasse. Dans ce cas, au lieu de faire agir directement sur le liquide la vapeur de chauffage, on l'envoie dans une chaudière tubulaire verticale G (fig. 534) placée au pied de la colonne et qui reçoit la vinasse épuisée. Cette vinasse arrive par le tuyau x, s'échauffe en circulant dans les tubes de la chaudière et dégage des vapeurs qui se rendent au pied de la colonne par le conduit Y; le

reste de l'opération se passe comme dans le cas précédent. Pour augmenter l'effet utile de la surface de chauffe de la chaudière on facilite la circulation de la vinasse au moyen d'un gros tube Z placé au centre du faisceau tubulaire. Le liquide descend par le tuyau central et remonte par les autres tubes.

Dans certains appareils de petite dimension, le réfrigérant D est placé directement au-dessous du chauffe-vin C avec lequel il fait corps, mais le fonctionnement reste le même. Cette disposition se retrouve dans l'appareil rectificateur Savalle qui sera ultérieurement indiqué.

Les flegmes ou liquides alcooliques obtenus avec les appareils Savalle que nous venons de décrire marquent de 50 à 60° centésimaux. Il est utile de pouvoir concentrer davantage ces produits, surtout lorsqu'ils doivent être expédiés au loin; car il importe alors de réduire au minimum le poids des matières inutiles à transporter. Dans ce but, on place au-dessus des plateaux de la colonne de distillation de l'appareil précédent une série d'autres plateaux arrosés par les liquides provenant des premières condensations dans le chauffe-vin; on peut ainsi arriver à obtenir de l'alcool à 90°.

951. Appareil Egrot. — Cet appareil (fig. 535) destiné surtout à la distillation des vins et des jus de canne fermentés diffère, par un certain nombre de détails intéressants, de ceux que nous avons décrits jusqu'ici. La chaudière A est cylindrique, mais de faible hauteur, et chauffée soit à feu nu soit par un serpentin de vapeur; elle est surmontée d'une large colonne distillatoire B également cylindrique. Au-dessus de cette colonne s'en trouve une autre C de diamètre plus petit, où se concentrent les vapeurs d'alcool qui se dégagent de la colonne B. Ces vapeurs gagnent ensuite par un col de cygne le serpentin du chauffe-vin D. Généralement cet ensemble est complété par un réfrigérant E placé immédiatement au-dessous et dans le prolongement du chauffe-vin D. Cependant, dans les appareils de petites dimensions, le réfrigérant est supprimé.

Les vapeurs formées dans la chaudière A traversent la colonne B en barbotant dans le vin retenu à la surface des diffé-

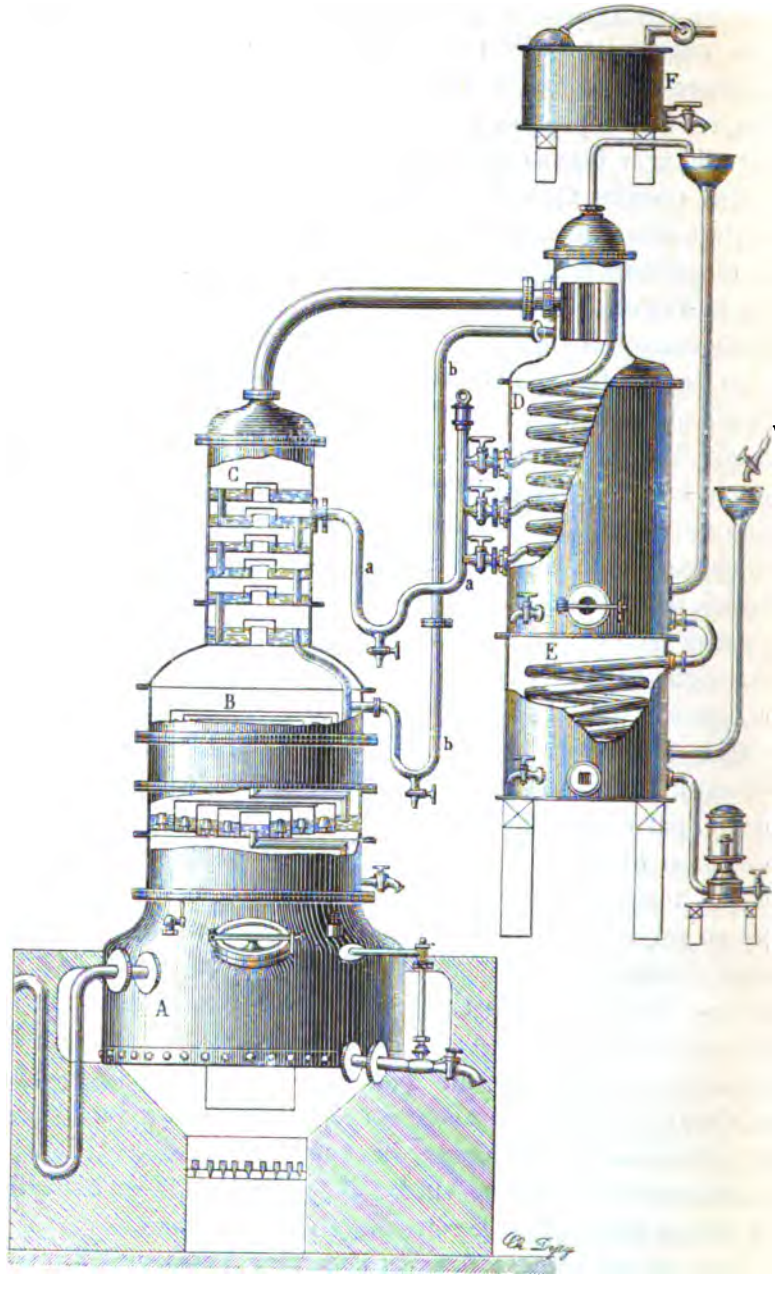


Fig . 535.

rents plateaux déflegmateurs. Chacun de ces plateaux (fig. 536-537) est formé de plusieurs cylindres concentriques de faible hauteur, emboîtés les uns dans les autres, de manière à présenter une série de canaux circulaires étagés, dont le plus bas occupe le centre.

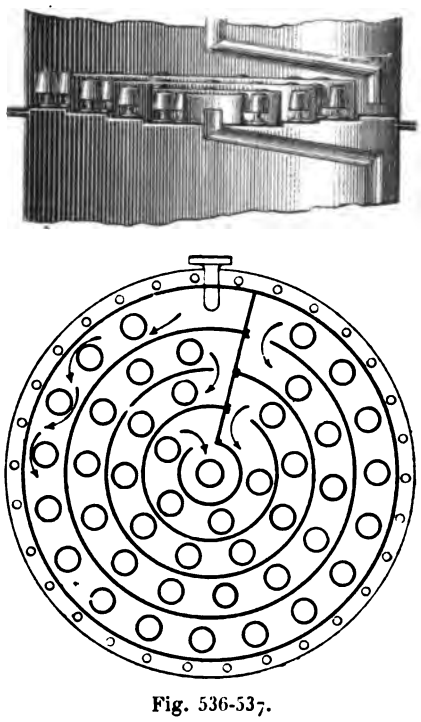


Fig. 536-537.

Le vin, versé sur le bord extérieur du plateau supérieur, circule successivement dans les canaux concentriques qu'il parcourt dans toute leur longueur, arrive au centre et, de là, gagne par un trop-plein le bord extérieur du second plateau sur lequel il s'écoule en suivant un parcours analogue, et ainsi de suite.

Les fonds des plateaux superposés sont percés d'orifices munis d'ajutages émergeant au-dessus du liquide et recouverts de chapeaux dont les bords plongent dans le liquide, de telle sorte que les vapeurs sont forcées de barboter pour gagner la colonne de concentration C. Cette colonne comporte un certain nombre de plateaux munis d'un seul orifice central, à chapeau plongeant, et d'un trop-plein situé contre la paroi.

Les plateaux sont baignés par les premiers produits de la condensation qui sont ramenés par trois robinets, dits « de rétrogradation », prenant le liquide dans le serpentin du chauffe-vin à des hauteurs différentes.

Selon le degré de concentration que l'on veut obtenir, on ouvre un, deux ou trois de ces robinets ; quand ils sont ouverts tous les trois, on obtient les produits les plus concentrés que peut fournir l'appareil.

Le condenseur D est constitué par un serpentin baigné dans le vin à distiller. Lorsque l'appareil de distillation comporte le réfrigérant E, on emploie presque toujours de l'eau comme liquide refroidissant.

Les produits alcooliques condensés se rendent dans une éprouvette et sont ensuite emmagasinés.

Le vin à distiller est refoulé dans un grand réservoir qui alimente un bac à flotteur. De là, il est amené à la partie basse du chauffe-vin, parcourt celui-ci de bas en haut en s'échauffant, arrive sur le plateau supérieur de la colonne B descend alors d'étage en étage et tombe dans la chaudière A d'où il sort, à l'état de vinasse, par un siphon renversé.

Il existe encore de nombreux appareils distillatoires ; tous rentrent, à quelques dispositions de détail près, dans l'un des types que nous venons de décrire.

Pour les exploitations agricoles, on construit des appareils basés sur les mêmes principes que les précédents mais de dimensions plus restreintes ; certains d'entre eux sont même locomobiles.

RECTIFICATION DE L'ALCOOL.

952. Les alcools, obtenus par la distillation simple et qui portent le nom de flegmes, ne sont généralement pas suffisamment concentrés ; de plus, ils ont toujours une certaine saveur, variable avec leur provenance, et due à des produits acides, alcooliques et éthérés qui leur sont mélangés. Dans certains cas, ces produits donnent de la qualité aux flegmes ; il en est ainsi pour les eaux-de-vie de raisin, pour le kirsch, etc. ; mais le plus généralement ils déprécient l'alcool et on doit chercher à les éliminer ; c'est là précisément le but de la rectification.

Cette opération est basée sur ce fait que les produits mélangés à l'alcool n'ont pas la même température d'ébullition que lui ; c'est donc, en somme, une seconde distillation.

Les flegmes soumis à la rectification doivent être, au besoin, convenablement étendus d'eau, de manière à marquer seulement 40° à 45° centésimaux ; la séparation des produits étran-

gers se fait alors beaucoup mieux. On ajoute même aux flegmes une certaine quantité, variable avec leur nature, de potasse perlasse, destinée à neutraliser les acides qu'ils renferment.

Les appareils rectificateurs sont très nombreux ; dans presque tous, les opérations sont discontinues et c'est seulement dans ces dernières années que l'on a réussi à construire des rectificateurs à fonctionnement continu.

953. Appareil rectificateur Savalle. — Cet appareil (fig. 538), qui figurait à l'Exposition Universelle de 1889, est à fonctionnement discontinu. Il comprend essentiellement une chaudière A, contenant l'alcool à traiter, une colonne distillatoire B, un condenseur analyseur C, et enfin un réfrigérant D.

La chaudière A est chauffée au moyen d'un serpentin alimenté de vapeur dont la pression est maintenue constante par le régulateur E que nous avons déjà décrit. Dans les derniers types construits, la chaudière renferme deux serpentins concentriques ; l'un, formé de gros tubes, reçoit de la vapeur convenablement détendue provenant directement des générateurs et l'autre, constitué par des tubes de diamètre un peu plus faible, est parcouru par la vapeur d'échappement de la machine qui sert à élever l'eau employée pour la condensation. Cette chaudière est pourvue de deux tubes de niveau 10, d'un tube de remplissage *n*, d'un reniflard 8 et d'un trou d'homme 9. Ce dernier sert pour le nettoyage de la chaudière et du serpentin. L'eau de condensation de la vapeur de chauffage s'écoule par le robinet 2. La chaudière est surmontée d'un dôme de vapeur excentré G dans lequel plonge un thermomètre et d'une colonne de distillation B.

Les plateaux qui garnissent cette colonne sont formés chacun d'un simple disque percé d'un grand nombre de trous de 0,004 de diamètre environ et muni d'une sorte de cuvette dans laquelle plonge un ajutage formant le trop-plein du plateau immédiatement supérieur. Les fonds des cuvettes sont également percés d'un petit orifice de 0,002 de diamètre, de manière que le liquide qu'elles retiennent puisse s'écouler quand, l'opération étant terminée, on cesse de chauffer.

La vapeur se rend du dôme G de la chaudière à la colonne B par un conduit disposé en siphon renversé de manière à retenir les liquides qui, lors de l'arrêt du chauffage, pourraient s'accumuler à la base de la colonne distillatoire. On évite ainsi que la

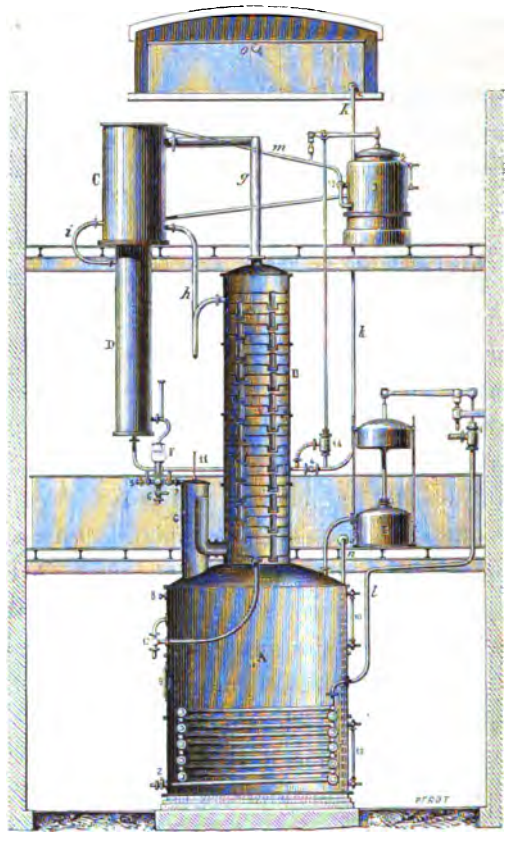


Fig. 538.

chaudière ne soit souillée par les bas produits à odeur infecte qui restent à la fin de l'opération.

Les vapeurs s'élèvent en traversant les trous des plateaux, tandis que le liquide s'écoule d'étage en étage en passant par les trop-plein. Arrivées au sommet, les vapeurs se rendent à un condenseur analyseur tubulaire C, puis au refrigérant tubu-

laire D placé directement au-dessous et dans lequel s'achève la condensation.

L'eau qui sert au refroidissement arrive à la partie inférieure du réfrigérant par un tuyau *k* et sort à la partie supérieure du condenseur par le tuyau *m* qui la conduit au régulateur J. Celui-ci, en agissant sur la vanne 14, règle la quantité d'eau employée pour la condensation et par suite la température de sortie de ce liquide.

L'alcool fourni par le réfrigérant arrive dans une éprouvette-jauge F (fig. 539) qui permet de se rendre compte à chaque instant de la quantité et de la nature de l'alcool qui s'écoule. Le fonctionnement de ce petit appareil repose sur ce que le volume de liquide débité par un orifice est intimement lié à la hauteur de charge au-dessus de cet orifice.

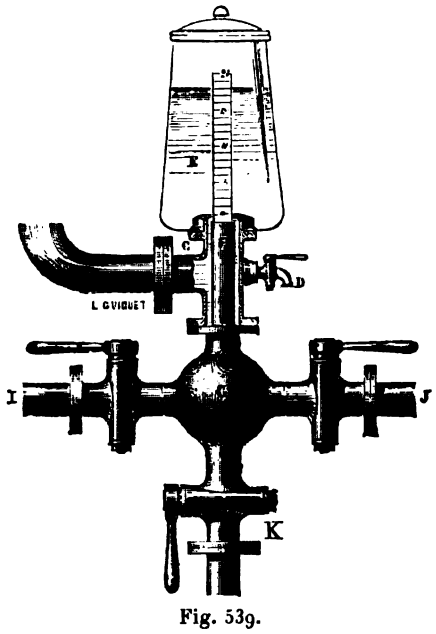


Fig. 539.

L'éprouvette-jauge se compose d'un vase de verre E à la base duquel s'accumulent les produits de l'opération. Ce vase renferme un tube de verre gradué surmontant un tuyau F par où s'écoule au dehors le liquide alcoolique. Celui-ci ne peut pénétrer dans le tuyau F qu'en traversant un tout petit trou situé au pied du tube de verre; on conçoit donc qu'on puisse graduer le tube de manière à connaître à chaque instant le débit d'après le niveau du liquide dans l'éprouvette. Un alcoomètre plonge dans le liquide de l'éprouvette et un robinet de dégustation D permet de reconnaître la qualité de l'alcool. D'après la constatation faite, on ouvre un des trois robinets I, J, ou K, et on envoie ainsi les produits aux bons goûts, aux médiocres ou aux mauvais goûts.

Pour effectuer une rectification dans cet appareil, on verse l'alcool à rectifier dans la chaudière A chauffée par les serpentins de vapeur; on élève vivement la température en admettant la vapeur en plein jusqu'à ce que les flegmes entrent en ébullition; à ce moment, on ferme en partie le robinet de prise de vapeur et on envoie de l'eau froide en abondance dans le condenseur analyseur C; cette eau passe directement par le robinet 4 sans traverser le régulateur d'alimentation.

Les vapeurs alcooliques sont entièrement condensées et font retour par le tuyau *h* à la colonne distillatoire dont les plateaux se recouvrent de liquide; la pression dans la chaudière monte alors progressivement et reste toujours supérieure à la somme des nappes liquides que retiennent les plateaux. Quand tous ceux-ci sont garnis, on ferme le robinet 4 et on laisse fonctionner le régulateur d'admission d'eau froide de manière qu'il ne se condense plus dans l'analyseur C que les deux tiers des vapeurs alcooliques formées. Le dernier tiers passe dans le réfrigérant tubulaire D où il est condensé et refroidi et le liquide se rend enfin à l'éprouvette. Les premières parties condensées (3 p. 100 environ) constituent *les mauvais goûts de tête* (aldéhyde, éther acétique, etc.); peu à peu l'alcool condensé est plus pur et forme l'alcool *bon goût* qu'on recueille.

Quand le thermomètre de la chaudière A indique une température de 99 à 100°, on envoie, après épreuve, l'alcool au réservoir des demi-fins. A la température de 101°, on laisse de nouveau arriver l'eau froide en plein, afin de condenser toutes les vapeurs pour recouvrir d'alcool à fort degré les plateaux supérieurs de la colonne et remplir le condenseur. Les huiles essentielles viennent se dissoudre dans cet alcool et il n'y a plus à craindre qu'elles souillent les plateaux ni le condenseur. Enfin à 102°, le liquide restant dans la chaudière ne contenant plus d'alcool l'opération est terminée. On ouvre le robinet de vidange, on ferme l'arrivée de vapeur, et on envoie *aux mauvais goûts* de queue (alcools propylique, butyrique, amylique) le liquide contenu dans la colonne et qui s'écoule à travers les petits orifices des plateaux par suite de l'abaissement de pression dans l'appareil.

954. Rectification continue, système Barbet. — M. Barbet a imaginé un procédé qui permet d'opérer la rectification des flegmes d'une manière absolument continue; un spécimen des appareils employés à cet effet figurait à l'Exposition Universelle de 1889.

Le système repose sur les mêmes principes que la distillation continue. En effet, de même que, dans la distillation continue, on sépare d'un mélange vineux le liquide le plus volatil, c'est-à-dire l'alcool, et qu'on obtient comme résidu des vinasses épuisées, de même, dans la rectification continue, on commence par extraire des flegmes la partie la moins fixe (aldéhydes et éthers qui forment les mauvais goûts de tête) et on a comme résidu de cette première opération un liquide qui ne contient plus que de l'alcool et des huiles essentielles moins volatiles que lui.

Par une seconde distillation on sépare l'alcool de ce mélange et on obtient comme résidu définitif les huiles essentielles qui forment les mauvais goûts de queue.

L'appareil (fig. 540) étudié par M. Barbet comporte deux colonnes de rectification, suivies chacune d'un condenseur et d'un réfrigérant, et disposées de telle sorte que les résidus provenant de la première s'écoulent dans la seconde.

Les flegmes à rectifier sont amenés par le tuyau 1 d'un réservoir supérieur à la base d'un réchauffeur tubulaire R dans lequel ils circulent en montant et récupérent une grande partie de la chaleur que renferme la vinasse épuisée à sa sortie de la deuxième colonne B. Ils gagnent alors par le tuyau 2 la partie supérieure de la première colonne A appelée *épurateur;* celle-ci est chauffée au moyen d'un serpentin de vapeur logé dans le tronçon inférieur S et alimenté par le tuyau *a*. L'eau de condensation du serpentin s'écoule par le tuyau *b*. Les vapeurs d'alcool se formant dans la colonne A se rendent au condenseur C, muni d'un retour qui ramène les produits condensés au sommet du tronçon supérieur A′ dans lequel les vapeurs s'enrichissent en éthers. Le chauffage dans la colonne A et le refroidissement dans le condenseur sont combinés de telle façon que les vapeurs qui parviennent au réfrigérant D ne représentent que 5 à 6 p. 100

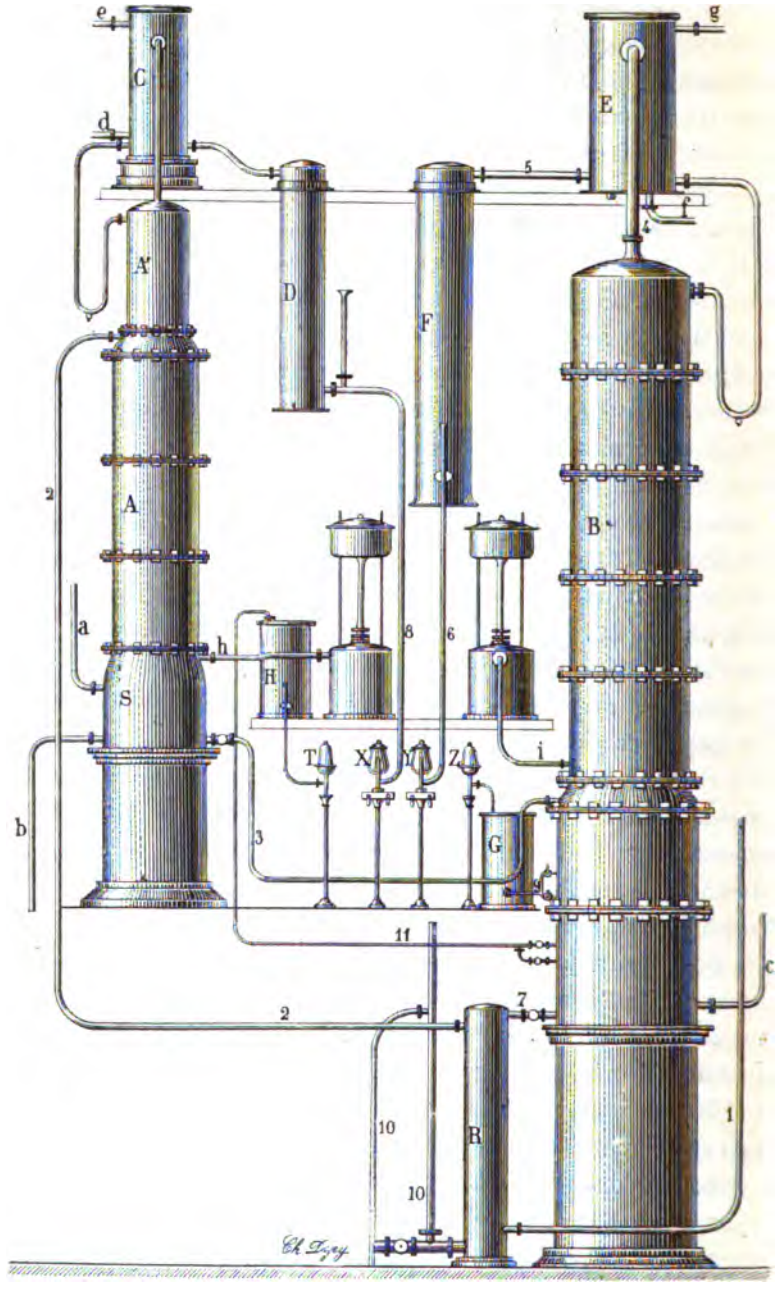


Fig. 540.

du liquide mis en traitement et sont presque uniquement composées des éthers formant les produits de tête. A leur sortie du réfrigérant, ces éthers se rendent par le conduit 8 à l'éprouvette X, dans laquelle plonge un alcoomètre qui doit marquer environ 94°.

Les flegmes descendent de plateau en plateau et arrivent à la partie inférieure de la colonne A débarrassés des produits de tête; ils se rendent par le tuyau 3 vers la partie moyenne de la colonne B, dans laquelle l'alcool va être séparé des huiles essentielles. Les tronçons inférieurs, dits d'épuisement, correspondent à peu près à la chaudière d'un rectificateur discontinu. Le chauffage y est effectué par le contact direct de la vapeur qui barbote dans le liquide.

Les vapeurs alcooliques qui se dégagent se rectifient dans les tronçons supérieurs et se rendent par le tuyau 4 au condenseur E muni d'un retour; elles parcourent ensuite le tube 5, puis se liquéfient dans le réfrigérant F. L'alcool liquide s'écoule alors dans la conduite 6 qui le dirige vers l'éprouvette Y, au sortir de laquelle il est emmagasiné.

Les plateaux inférieurs ne renferment donc plus que les produits de queue et la vinasse. On pensait tout d'abord évacuer ces produits simultanément par le bas de l'appareil, mais, en pratique, il n'arrive au pied de la colonne qu'un liquide complètement épuisé marquant 0° ; les huiles mauvais goût, plus volatiles que la vinasse, ne parviennent jamais au bas de l'appareil; celles qui descendent à l'état liquide au-dessous d'un certain niveau sont volatilisées par les vapeurs venant du bas, et celles qui s'élèvent à l'état de vapeurs sont condensées par le liquide qui descend. Ces huiles ne se trouvent donc que dans une certaine région de la colonne. A la hauteur de cette région, on a établi des prises pour l'extraction des produits de queue à l'état liquide; ceux-ci se rendent par le tuyau 9 au réfrigérant G et, de là, à l'éprouvette Z. Ils doivent marquer environ 50° et renferment à peu près parties égales d'alcool éthylique et d'huiles mauvais goût. L'éprouvette Z sert également de guide pour le réglage de l'appareil; en effet si le liquide qui s'écoule marque

un degré trop élevé, c'est que l'alimentation est trop vive et on doit la diminuer; si au contraire le degré descend au-dessous de 50° on en conclut que l'alimentation est insuffisante, et on doit l'augmenter.

Quant aux vinasses complètement épuisées, elles s'écoulent par le tuyau 7, passent dans le réchauffeur R, abandonnent de la chaleur aux flegmes à rectifier et, ainsi refroidies, s'échappent enfin par le siphon 10.

Pour s'assurer du bon fonctionnement de l'appareil, on a établi une prise de vapeur sur la colonne B au-dessus du niveau du liquide qui remplit le fond du soubassement ; ces vapeurs amenées par le tuyau 11 au condenseur H se liquéfient puis passent à l'éprouvette T dont l'alcoomètre doit toujours marquer 0°.

Deux régulateurs du genre Savalle maintiennent une pression constante dans chacune des deux colonnes de l'appareil.

Pour rendre la figure plus claire nous n'avons fait qu'indiquer les branchements des tuyaux d'arrivée et de départ de la vapeur de chauffage, des vapeurs d'alcool, de l'eau nécessaire à la condensation, de l'eau condensée et de l'eau de lavage, nous n'avons pas non plus indiqué les valves qui servent au réglage de la pression ; on peut se rendre compte de leur disposition en se reportant à la figure 538.

DISTILLATION DES GOUDRONS DE HOUILLE.

955. Le goudron obtenu dans les usines à gaz comme résidu de la distillation des houilles à haute température représente 5 à 6 p. 100 du poids de ces houilles.

C'est une matière extrêmement complexe dont la majeure partie se dépose dans les barillets et les réfrigérants ; mais le gaz, même bien refroidi, en emporte toujours, à l'état de fines poussières liquides, une certaine quantité qui ne peut être éliminée que par une sorte de filtration à travers du poussier de coke, de la sciure, ou mieux par une action purement mécanique (condensateur Pelouze et Audouin).

Un simple choc contre une paroi placée vis-à-vis des ouver

tures de sortie du gaz à une distance de 1 millimètre 1/2, suffit pour séparer le goudron du gaz qui l'entraîne. La perte de charge résultant de ce choc ne dépasse pas 4 ou 5 centimètres d'eau.

Le goudron qui est retenu soit dans les barillets, soit dans les réfrigérants, soit enfin dans les condensateurs mécaniques, se rend, mélangé à l'eau ammoniacale condensée en même temps que lui, dans de vastes citernes où s'effectue la séparation par ordre de densité.

Le goudron, plus lourd que les produits ammoniacaux, s'accumule dans la partie inférieure, d'où, après un repos suffisamment prolongé, on le pompe et on l'expédie dans des tonnes roulantes ou wagons-citernes aux usines de distillation.

Le goudron (en anglais coal-tar) est, comme nous l'avons dit, de composition fort complexe. On y trouve en très petite quantité des essences bouillant au-dessous de 75°; puis, en quantité notable (représentant à peu près 1/2 à 1 p. 100) des carbures bouillant de 80 à 120° ou 130°, tels que le benzol, le toluène, etc. Vient ensuite la série des carbures neutres : naphtaline, etc., en même temps que les phénols; puis l'anthracène, le fluorène, etc.

L'ensemble de toutes les parties volatiles, liquides ou cristallisant par le refroidissement, ne constitue pas d'ordinaire plus de 30 à 35 p. 100 du poids du goudron; les derniers produits passent à une température supérieure à 360°. Le résidu de la distillation, qui peut fournir encore des produits huileux, constitue le brai.

Lorsqu'on veut séparer les divers produits ainsi recueillis, il faut les rectifier; généralement la rectification est précédée d'un traitement chimique.

En raison de sa composition excessivement complexe, le goudron ne peut être industriellement traité dans les appareils à fractionnement dont nous avons indiqué l'emploi pour la distillation des flegmes alcooliques. Ces appareils ne peuvent servir en effet pour isoler les produits les plus volatils, riches en benzol, désignés dans l'industrie sous le nom d'huiles légères et qui ne peuvent subir utilement la rectification qu'après avoir été au préalable traités à l'acide et à la soude.

On a bien essayé, depuis un certain nombre d'années, d'opérer directement le fractionnement en partant du goudron (appareils Kiandy, chaudières continues de Mallet, etc.); mais l'industrie, tant en France qu'à l'étranger, et notamment en Angleterre où la production dépasse de beaucoup celle de tous les autres pays réunis, est revenue à des procédés plus simples et plus en rapport avec la valeur relativement faible des produits qui entrent pour la majeure partie dans la composition du goudron.

La forme et la dimension des appareils employés pour la distillation du goudron ont subi quelques modifications de détail mais se rapprochent à peu de chose près du type représenté figure 541.

En Angleterre, on a recours à de très grandes chaudières; celles qu'on utilise en Allemagne ont une capacité moindre. Les grandes chaudières sont proportionnellement moins coûteuses d'installation, exigent moins de frais de chauffage; mais les chaudières moins grandes leur sont supérieures au point de vue de la perfection des fractionnements. D'ailleurs, il est évident que, si on fait usage de plusieurs chaudières moyennes, on a moins à craindre le chômage que dans le cas où l'on utilise seulement une, deux ou trois chaudières de très grande capacité.

956. Voici comment s'effectue la distillation du goudron dans les usines de la Compagnie parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz. Nous devons ces renseignements à l'obligeance de M. Camus, directeur de la Compagnie, et de M. Audouin, ingénieur chef des travaux chimiques.

Nous ne décrirons ici que l'opération qui a pour but de séparer le goudron en deux parties : le brai et les huiles; les figures 541-542 représentent la disposition générale d'une usine de distillation du goudron. Pour plus de clarté, nous n'avons indiqué qu'une chaudière de distillation; en réalité il y en a plusieurs semblables groupées en batteries.

Le goudron amené des usines à gaz dans de grandes tonnes roulantes est versé par l'entonnoir B dans un récipient cylindrique 1, en tôle, placé sur des supports en fonte et logé dans une chambre en maçonnerie étanche A.

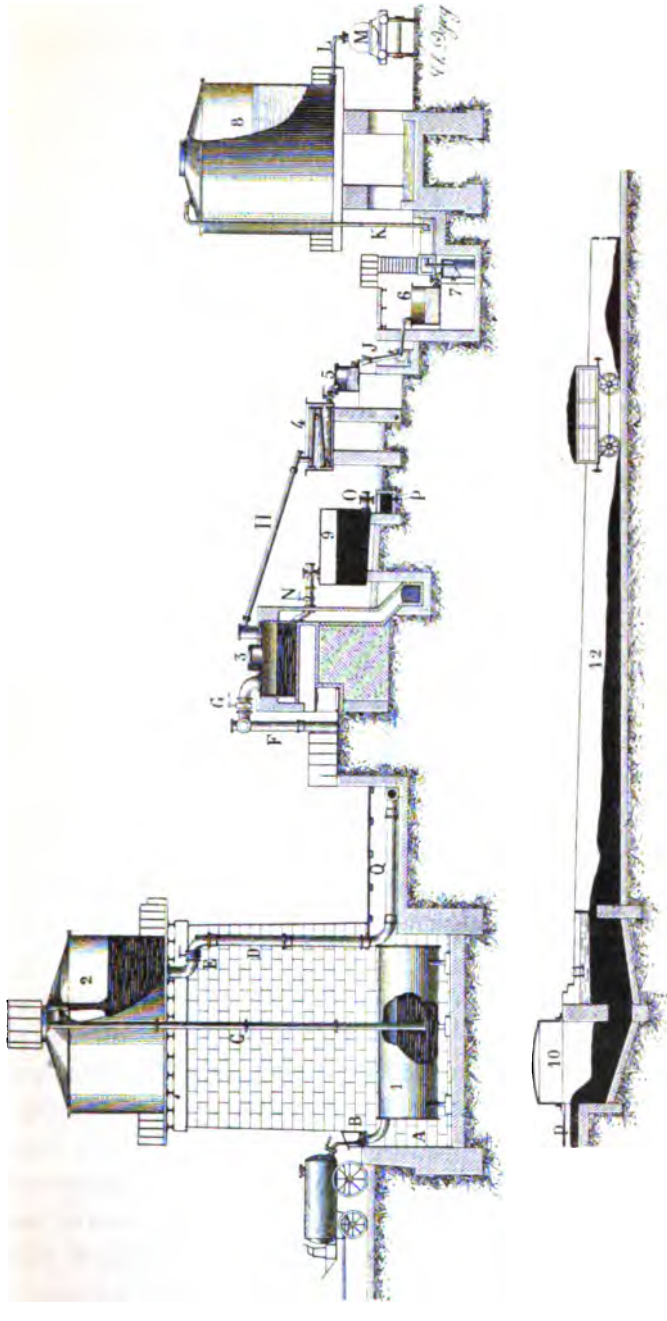


Fig. 571-572. — Distillation du goudron de houille.

Nous ferons remarquer de suite, en passant, que les maçonneries des bassins et des conduits qui reçoivent le goudron ou ses dérivés doivent être d'une étanchéité parfaite pour éviter des infiltrations qui infecteraient le sol et les nappes d'eau souterraines.

Du récipient 1 le goudron est monté par une pompe dans un grand réservoir en tôle 2 muni d'un couvercle et placé sur une charpente en fer reposant sur des supports en maçonnerie.

De ce réservoir le goudron s'écoule par la conduite D munie d'une valve de réglage E. La partie horizontale de cette conduite est placée dans un caniveau Q, en maçonnerie, recouvert par des panneaux mobiles en bois et peut ainsi être très facilement visitée.

Le goudron monte dans la conduite F, traverse le robinet G et pénètre dans la chaudière de distillation 3. Celle-ci est en tôle et ses parois sont protégées par une voûte réfractaire contre l'action directe des flammes du foyer.

Le goudron chauffé se sépare en deux parties :

Les produits essentiels qui se dégagent par le tuyau H, et le résidu ou brai qui doit être évacué par le tuyau N, à la fin de l'opération.

Les produits essentiels sortant de la chaudière 3 se condensent dans le serpentin en fonte 4 placé dans une bâche e tôle qui reçoit de l'eau froide circulant méthodiquement.

Tous ces produits se déversent au fur et à mesure de leur condensation dans une bâche en tôle 5 munie d'un couvercle de même mélal.

De cette bâche les huiles coulent dans un tuyau en plomb renfermé dans une *goulotte* J, en bois doublé de plomb, placée elle-même dans un caniveau en maçonnerie recouvert par des panneaux mobiles en bois qui permettent une visite facile.

La conduite en plomb débouche dans une bâche intermédiaire 6 en tôle, isolée et placée dans une chambre en maçonnerie; de ces bâches, les huiles se déversent dans un montejus en tôle 7 d'où elles sont envoyées par le tuyau K dans un grand réservoir 8. Le tuyau K passe d'abord dans une goulotte

en bois doublé de plomb, établie comme la précédente dans un caniveau en maçonnerie recouvert par des panneaux en bois mobiles. Il se relève ensuite verticalement et débouche dans le réservoir 8.

Un bassin rempli d'eau froide, placé au-dessous de ce réservoir, permet de se rendre compte des fuites et d'y remédier immédiatement.

Le contenu du récipient 8 est déversé au fur et à mesure des besoins, par le tuyau L dans les tonnes cylindriques M montées sur wagons.

Dès que le goudron soumis à la distillation dans l'une des chaudières 3 est épuisé, on envoie le résidu de l'opération par le robinet N dans un récipient intermédiaire 9, dit étouffoir, en tôle à double rivure et parfaitement clos, dans lequel il séjourne pendant un certain temps. Quand il est convenablement refroidi, le résidu ou brai est envoyé à travers la vanne O, dans un caniveau P en maçonnerie, recouvert de feuilles de tôle et parfaitement étanche.

Par ce caniveau, le brai arrive dans un appareil imaginé par Regnault et qui a pour but d'empêcher le dégagement de vapeurs gênantes.

957. Appareil Regnault pour la réception des brais. — Cet appareil (fig. 542) est formé d'un vaste réservoir en maçonnerie bien étanche divisé en deux compartiments par une cloison qui ne descend pas jusqu'au fond.

Le premier compartiment, qui reçoit le brai relativement encore très chaud, est pourvu d'un couvercle en tôle qui le clot hermétiquement ; la partie supérieure du second compartiment est ouverte à l'air libre, mais le brai qu'il renferme est toujours recouvert d'une couche d'eau maintenue par une petit barrage en tôle plongeant de quelques centimètres dans le brai.

Quand le brai sort du second compartiment il est suffisamment refroidi pour ne plus émettre de vapeurs ; il passe alors dans des bassins spéciaux où on l'emmagasine.

958. Bassins pour l'emmagasinage du brai. — Ce sont (fig. 542) des réservoirs peu profonds et présentant une très

grande surface libre de manière à favoriser le refroidissement du brai. Leur fond est formé d'une aire pavée qui se relève par une pente douce jusqu'au niveau des voies ferrées établies dans la cour de l'usine.

La surface du brai se recouvre d'une croûte solide sous laquelle se trouve une masse pâteuse qui s'avance lentement et durcit au fur et à mesure de son refroidissement. Quand le brai est suffisamment dur, on le casse et on le charge sur des wagons pour le livrer au commerce.

DISTILLATION DES HUILES DE PÉTROLE.

959. Les huiles de pétrole brutes, telles qu'on les rencontre dans la nature, ont une composition très complexe et se trouvent mélangées à des matières étrangères dont la proportion varie beaucoup avec la provenance des produits. Suivant le degré de pureté de ces huiles, leur couleur varie du vert au brun et, à la température ordinaire, leur consistance peut atteindre celle du beurre. Les huiles de pétrole à l'état brut ne sont guère employées dans l'industrie.

Cependant on a vu, dans la première partie de cet ouvrage, (**329**) qu'on cherche à les employer comme combustible pour le chauffage des chaudières. On n'utilise encore pour cette application qu'une faible portion des huiles naturelles. Les parties destinées au commerce sont en général soumises à la distillation et les produits séparés subissent encore une rectification, appelée raffinage, et complétée souvent par une épuration chimique.

Nous allons décrire l'appareil généralement adopté dans les principaux établissements où l'on distille le prétrole.

960. Cet appareil (fig. 543) se compose d'une grande chaudière cylindrique A, en tôle, communiquant par un tuyau B avec un serpentin condenseur S, à la suite duquel se trouve un récipient D. De ce récipient les produits de la distillation sont envoyés dans des réservoirs tels que E.

La chaudière est en tôle de 12 à 13 millimètres d'épaisseur; son diamètre est de 4 mètres environ et sa longueur est de 8 à 9 mètres. Elle est placée dans un fourneau en maçonnerie et

supportée sur des galets qui facilitent les déplacements dus à la dilatation.

Le chauffage se fait à feu nu et les gaz de la combustion gagnent directement la cheminée sans que les produits de la combustion soient obligés d'effectuer plusieurs circulations au contact des parois de la chaudière, comme cela a lieu pour les générateurs de vapeur.

Quoique peu économique, cette disposition a été adoptée pour éviter des dilatations inégales des différentes parties de la chaudière, dilatations qui pourraient fatiguer la rivure et causer des fuites dont les conséquences sont toujours à redouter, en raison de l'inflammabilité de la matière en traitement.

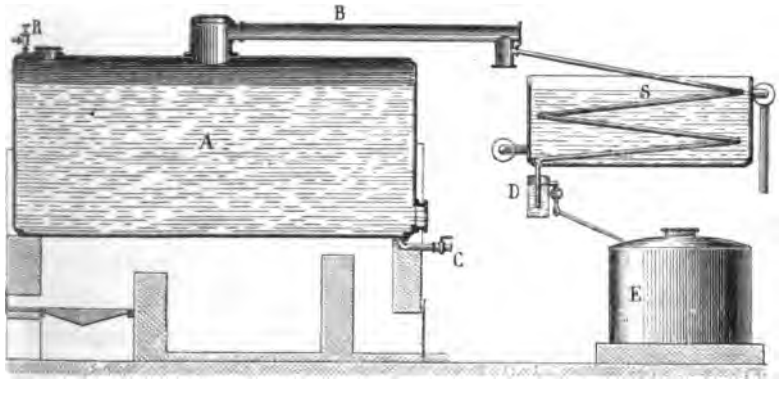


Fig. 543.

Pour opérer la distillation, on introduit le pétrole brut par le robinet R jusqu'à ce que le niveau du liquide soit à environ $0^m,50$ de la génératrice supérieure de la chaudière et on commence le chauffage. Les vapeurs se dégagent alors et se rendent par le tuyau B dans le serpentin S refroidi par un courant d'eau froide qui circule méthodiquement.

Les liquides provenant de la condensation des vapeurs se rendent dans le récipient D, et de là dans des réservoirs tels que E. On fractionne généralement les produits de la distillation d'après leur différence de densité. On peut les classer de la manière suivante :

1° Essences de densité inférieure à 0,660 ; ces produits, connus sous le nom de gazoline, sont employés pour faire du gaz d'air carburé.

2° Essences dont la densité est comprise entre 0,660 et 0,735 et qui constituent les essences, dites minérales, que l'on brûle dans des lampes sans verre et munies d'une petite éponge.

3° Tous les produits dont la densité est comprise entre 0,735 et 0,830 qui sont les huiles de pétrole du commerce.

4° Les huiles lourdes chargées de paraffine.

On arrête l'opération quand il reste dans la chaudière environ 15 p. 100 de la matière soumise à la distillation. On soutire alors par le robinet C le résidu qu'on soumet à une nouvelle distillation dans des appareils en fonte ; en le chauffant à une haute température, on obtient des huiles lourdes utilisées pour le graissage des machines, et il reste, dans la cornue, du coke de pétrole.

961. Il y aurait, peut-être, intérêt à modifier légèrement l'appareil que nous venons de décrire, en remplaçant, au moins pendant la première phase de l'opération, le chauffage à feu nu par le chauffage à vapeur ; il suffirait pour cela d'établir un serpentin dans la chaudière et on éviterait ainsi la proximité du feu au moment où l'on distille les produits les plus inflammables.

Dans certaines installations on prend d'ailleurs la précaution d'établir une voûte en matériaux réfractaires qui isole la chaudière et la met à l'abri du contact direct des gaz de la combustion.

CHAPITRE III

ÉVAPORATION

PRÉLIMINAIRES.

962. L'évaporation a pour objet, soit de concentrer une dissolution, soit de séparer un ou plusieurs liquides des matières fixes avec lesquelles ils sont mélangés ou combinés.

L'évaporation et la distillation présentent une certaine analogie puisqu'il s'agit, dans chacune de ces opérations, de vaporiser un liquide; mais elles diffèrent en ce que, dans la distillation, c'est la vapeur qui constitue le produit à recueillir tandis que, dans l'évaporation, c'est le résidu qu'on recherche, la vapeur dégagée étant un produit généralement sans valeur.

Pour produire l'évaporation, on peut employer divers procédés; mais, quel que soit celui dont on se sert, la quantité de chaleur théoriquement nécessaire pour évaporer à t degrés un kilogramme d'eau pris à t_0 est toujours

$$M = 606,5 + 0,305t - t_0.$$

On trouve ainsi pour

$t = 100°$ et $t_0 = 0$,		$M = 637°$
$t = 50°$	»	$M = 621°,75$
$t = 20°$	»	$M = 612°,6$

La quantité de chaleur à fournir diminue donc un peu quand la température à laquelle se fait l'évaporation s'abaisse, et, au premier abord, il semble qu'il doive y avoir avantage à éva-

porer à basse température. Nous verrons plus loin que le plus souvent, c'est le contraire qui est vrai, si l'on tient compte de tous les éléments de la question complexe de l'évaporation.

963. Les différents procédés d'évaporation sont très nombreux, mais, pour fixer les idées, nous les avons répartis en trois groupes suivant le mode opératoire et le degré de perfectionnement des procédés employés.

1° Évaporation par dissolution dans l'air :
- sans intervention de chaleur artificielle ;
- avec intervention de chaleur artificielle.

2° Évaporation par ébullition :
- en vase ouvert à la pression atmosphérique ;
- en vase clos à une pression différente de la pression atmosphérique.

3° Évaporation par ébullition en vases clos à effets multiples.

§ I

ÉVAPORATION PAR DISSOLUTION DE LA VAPEUR DANS L'AIR.

ÉVAPORATION SANS INTERVENTION DE CHALEUR ARTIFICIELLE.

964. Lorsqu'on fait passer au contact d'un liquide de l'air non saturé d'humidité, cet air se charge d'une certaine quantité de vapeur variant avec les circonstances qui accompagent l'opération. Un liquide exposé à l'air libre finit toujours par s'évaporer entièrement au bout d'un temps plus ou moins long. Le vent et le soleil activent beaucoup l'évaporation qu'on obtient ainsi sans dépense de combustible, mais d'une manière très irrégulière. Ce défaut de régularité est si fâcheux au point de vue industriel que, malgré l'avantage que présente ce procédé quant à l'économie de combustible, on l'a abondanné dans la plupart des industries. Il n'est plus guère employé aujourd'hui que pour l'extraction du sel marin.

Les marais salants sont formés de bassins peu profonds dans

lesquels l'eau de mer est exposée en couches minces à l'action combinée du soleil et de l'air atmosphérique afin d'obtenir par l'évaporation le sel marin qu'elle renferme. La rapidité de l'opération dépend de la température de l'air, de son état de saturation, des courants de l'atmosphère, de la puissance des rayons du soleil et enfin de l'étendue des surfaces exposées à l'action de l'air; la surface étant le seul élément dont on dispose avec ce procédé d'évaporation, le travail est nécessairement très irrégulier et nécessite beaucoup de main-d'œuvre.

Dans certaines localités, on emploie pour l'extraction du sel des appareils, dits *bâtiments de graduation*, dans lesquels l'évaporation ou plutôt la concentration se fait encore sous l'action de l'air atmosphérique. Le liquide à concentrer est élevé par des pompes et coule sur des fagots ou fascines qui ont pour effet de le diviser en gouttelettes. On a remarqué en effet que l'action de l'air est plus efficace sur un liquide qui tombe en pluie. Cela tient à ce que les surfaces de contact entre l'air et l'eau se trouvent ainsi très augmentées. Ce procédé est assez peu économique parce qu'il nécessite l'élévation des eaux et que les frais accessoires sont assez considérables.

On a souvent essayé l'emploi d'un courant d'air artificiel produit par un ventilateur. On force l'air à traverser une chambre dans laquelle on fait écouler le liquide en minces filets le long de cordes pendantes. En opérant dans ces conditions, on peut estimer que dans la saison d'automne chaque mètre cube d'air enlève environ 3 grammes de vapeur d'eau, mais aussi un peu de liquide et des particules solides.

Ce mode d'opérer exige un moteur, une pompe, un ventilateur; malgré cela, il est encore très irrégulier, parce que le degré hygrométrique de l'air est très variable, et même, lorsque l'air extérieur est presque saturé, comme cela arrive dans les temps pluvieux, l'évaporation est à peu près nulle.

Tous ces moyens tendent maintenant à être abandonnés, car on considère aujourd'hui comme essentiel pour toute opération industrielle, qu'elle soit faite avec régularité et aussi rapidement que possible.

ÉVAPORATION AVEC INTERVENTION DE CHALEUR ARTIFICIELLE.

965. Pour assurer, activer et régulariser l'évaporation, il faut faire intervenir une source extérieure de chaleur; la quantité de vapeur que l'air peut dissoudre augmente rapidement avec l'élévation de température, comme nous le verrons plus loin.

Jadis, on croyait qu'il était avantageux d'opérer à une température inférieure à celle de l'ébullition et, pendant longtemps, on s'est servi de chaudières ouvertes placées au-dessus d'un foyer. Une disposition souvent employée (fig. 544) se compose d'une série de trois bassines chauffées par un foyer et étagées afin de rendre plus commode le transvasement du liquide de l'une dans l'autre.

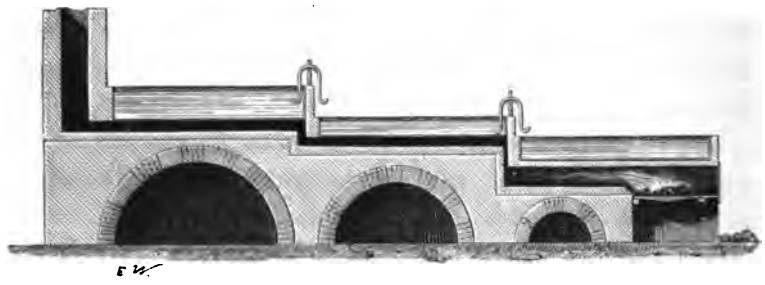


Fig. 544.

Les bassines sont disposées pour réaliser les conditions d'un chauffage méthodique et la dissolution peut, sous l'action de la pesanteur, passer d'un étage à l'autre, au moyen de siphons, à branches égales et à extrémités relevées, qui ne se désamorcent pas quand on les sort du liquide.

Pour transvaser le liquide d'un bac dans le suivant, on descend le siphon et on fait plonger l'une de ses branches dans le liquide l'écoulement se produit aussitôt en vertu de la différence de niveau.

Pour favoriser l'évaporation, on expose à l'air de grandes surfaces liquides, mais on augmente ainsi les pertes de chaleur par rayonnement et par échauffement de l'air ambiant. Plus de la moitié de la chaleur produite dans le foyer est ainsi perdue.

L'opération s'effectue d'autant plus rapidement que le courant d'air est plus énergique et, pour en augmenter l'effet, on recouvre quelquefois les bassines d'une sorte de toit. Toutefois, la consommation de combustible nécessitée par ce procédé reste toujours considérable; c'est ce que nous allons établir.

966. Chaleur nécessaire pour l'évaporation par dissolution dans l'air. — Désignons par :

P le poids d'air qui passe sur le liquide à évaporer dans un temps déterminé;

W le poids de vapeur qu'il lui enlève.

Ce poids est la différence entre celui de la vapeur W_1 que l'air emporte à sa sortie et le poids W_0 qu'il tenait en dissolution à son entrée.

$$W = W_1 - W_0$$

Appelons :

Q le volume du mélange d'air et de vapeur (renfermant le poids P d'air et le poids W_1 de vapeur);

H_1 et t_1 la pression et la température de ce mélange;

K_1 le degré de saturation du mélange sortant;

F_1 la tension de la vapeur saturée à la température t_1;

K_1F_1 est la tension de la vapeur dans le mélange.

Le poids de vapeur que ce dernier renferme est donc :

$$W_1 = Q \times 1,293 \times 0,622 \frac{K_1F_1}{0,76} \times \frac{1}{1 + \alpha t_1}.$$

D'après la loi du mélange des gaz et des vapeurs, la tension de l'air est :

$$H_1 - K_1F_1$$

et par suite le poids d'air est :

$$P = Q \times 1,293 \frac{H_1 - K_1F_1}{0,76} \times \frac{1}{1 + \alpha t_1}.$$

Divisons membre à membre ces deux égalités, il vient :

$$W_1 = 0,622 \frac{K_1F_1}{H_1 - K_1F_1} P = m_1 P$$

en posant pour simplifier

$$m_1 = 0{,}622 \frac{K_1 F_1}{H_1 - K_1 F_1}$$

m_1 est le poids de vapeur enlevé par 1 kilogr. d'air. C'est la valeur de W_1 pour $P = 1$.

Pour le mélange d'air et de vapeur arrivant au contact du liquide, désignons par H_0, t_0, K_0, F_0, la tension, la température du mélange, le degré de saturation et la tension de la vapeur saturée à la température t_0, nous trouverons de même :

$$W_0 = 0{,}622 \frac{K_0 F_0}{H_0 - K_0 F_0} P = m_0 P$$

par suite

$$W = W_1 - W_0 = (m_1 - m_0) P$$

d'où

$$P = \frac{W}{m_1 - m_0}$$

relation qui donne le poids P d'air nécessaire pour dissoudre un poids W de vapeur dans des circonstances données. Nous indiquons dans le tableau suivant les différentes valeurs de F et de m pour des températures de 0 à 100° et pour des valeurs de K comprises entre 0,50 et l'unité.

Les exemples qui suivent montrent l'usage qu'on peut faire de ce tableau.

Soit

$t_1 = 70°$	$K_1 = 0{,}50$	$K_1 = 1$
$m_1 =$	0,112663	0,275173
$t_0 = 15°$	$K_0 = 0{,}50$	$K_0 = 1$
$m_0 =$	0,005243	0,010568
$m_1 - m_0 =$	0,1074	0,2646

Le rapport $\frac{P}{W_1} = \frac{1}{m_1 - m_0}$ a une valeur moyenne de 9,3 dans le premier cas et 3,8 dans le second, c'est-à-dire que pour enlever 1 kilogr. de vapeur il faut dans le premier cas environ 9 kilogr. d'air et que, dans le second cas, il en faut 4.

Tableau des valeurs de m.

m = poids de vapeur par kilogr. d'air. $m = 0{,}622 \frac{KF}{H - KF}$ $H = 0{,}760$

P = poids d'air nécessaire pour enlever 1 kilogr. d'eau. $P = \frac{1}{m_1 - m_0}$

TEMPÉRATURES.	TENSION de la vapeur. F	VALEURS DE m, POUR K =					
		0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
0°	0,0046	0,001 888	0,002 267	0,002 647	0,003 029	0,003 407	0,003 788
5	0,0065	0,002 668	0,003 208	0,003 746	0,004 286	0,004 825	0,005 368
10	0,0092	0,003 788	0,004 551	0,005 316	0,006 083	0,006 851	0,007 620
15	0,0127	0,005 243	0,006 300	0,007 362	0,008 428	0,009 497	0,010 568
20	0,0174	0,007 203	0,008 663	0,010 131	0,011 607	0,013 086	0,014 573
25	0,0236	0,009 809	0,012 660	0,013 821	0,015 842	0,017 883	0,019 935
30	0,0315	0,013 162	0,015 863	0,018 585	0,021 335	0,024 101	0,026 895
35	0,0418	0,017 590	0,021 226	0,024 906	0,028 631	0,032 392	0,036 200
40	0,0549	0,023 306	0,028 180	0,033 127	0,038 147	0,043 250	0,048 429
45	0,0714	0,030 658	0,037 156	0,043 784	0,050 550	0,057 449	0,064 495
50	0,0920	0,040 075	0,048 715	0,057 586	0,066 697	0,076 051	0,085 662
55	0,1175	0,052 111	0,063 598	0,075 484	0,087 789	0,100 537	0,113 751
60	0,1488	0,067 499	0,082 795	0,098 785	0,115 518	0,133 047	0,151 432
65	0,1869	0,087 204	0,107 664	0,129 339	0,152 340	0,176 797	0,202 847
70	0,2331	0,112 663	0,140 280	0,170 051	0,202 243	0,237 163	0,275 173
75	0,2885	0,145 716	0,183 452	0,225 092	0,271 273	0,322 779	0,380 589
80	0,3546	0,189 256	0,241 826	0,301 678	0,370 445	0,450 268	0,544 057
85	0,4330	0,247 767	0,323 062	0,412 624	0,520 937	0,654 586	0,823 628
90	0,5255	0,328 671	0,441 009	0,583 457	0,769 992	1,024 821	1,393 865
95	0,6338	0,444 848	0,622 917	0,872 341	1,246 755	1,871 512	3,123 802
100	0,7600	0,622 000	0,933 000	1,451 333	2,488 000	5,598 000	∞

La chaleur M nécessaire pour produire l'évaporation se compose de trois parties :

1° La chaleur à fournir pour vaporiser à la température t_1 le poids W d'eau pris à t_0; d'après la formule connue, ce nombre de calories est :

$$(606,5+0,305t_1-t_0)W$$

2° La chaleur nécessaire pour chauffer l'air de la température t_0 à la température t_1 et qui est donnée par l'équation

$$P\times 0,2378(t_1-t_0)=\frac{W}{m_1-m_0}\times 0,2378(t_1-t_0).$$

3° Enfin la chaleur destinée à porter de t_0 à t_1 la température de la vapeur d'eau introduite avec l'air

$$W_0\times 0,48(t_1-t_0)=\frac{m_0}{m_1-m_0}W\times 0,48(t_1-t_0)$$

car on a

$$W_0=m_0P=\frac{m_0}{m_1-m_0}W.$$

En ajoutant ces trois quantités on trouve que la chaleur totale M à fournir pour évaporer le poids W d'eau est

$$M=W\left[606,5+0,305t_1-t_0+\frac{t_1-t_0}{m_1-m_0}(0,2378+m_0\times 0,48)\right] \quad [1]$$

Cette quantité est, comme cela devait être, proportionnelle à W.

Voici un exemple de l'application de cette formule.

Si $t_1=70°$ et $t_0=15°$ nous avons vu qu'on avait, lorsque l'air entre saturé et qu'il sort à peu près complètement saturé

$$\frac{1}{m_1-m_0}=4$$

en remplaçant et en effectuant, on trouve :

$$M=(613+53)W=666W.$$

Nous allons étudier les conséquences de la formule [1].

a. Supposons d'abord qu'on ne fournisse aucune quantité de chaleur, on a

$$M = 0$$

et par suite

$$(606,5 + 0,305t_1 - t_0) + \frac{t_1 - t_0}{m_1 - m_0}(0,2378 + m_0 \times 0,48) = 0. \quad [2]$$

Le premier terme de cette équation est toujours positif; comme, d'ailleurs en vertu de la relation $P = \frac{W}{m_1 - m_0}$ dans laquelle P est plus grand que 0, il faut pour que W soit positif que $m_1 - m_0$ le soit aussi, l'équation [2] ne peut être satisfaite que si $t_1 - t_0$ est plus petit que 0, c'est-à-dire qu'il faut que le deuxième terme du premier membre soit négatif. Il y a en effet refroidissement par l'évaporation et l'équation permet de calculer l'abaissement de température.

On utilise parfois le passage de l'air sur des surfaces mouillées pour produire un certain refroidissement, mais comme m_1 est toujours peu différent de m_0, la quantité d'air à faire passer est très grande et le nombre des calories absorbées se répartissant sur un poids d'air considérable, l'abaissement de température est nécessairement très faible.

On peut, en général, se dispenser de tenir compte du terme $0,48\, m_0$ de la formule [1], le plus souvent ce terme est négligeable à côté de 0,2378. En supposant que $t_0 = 20^0$, $H_0 = H_1 = 0,76$ et $K_1 = 0,60$, conditions qui peuvent se présenter dans l'évaporation à l'air libre, m_0 est au plus égal à 0,0087. Le produit des deux quantités $t_0 \times m_0$ ou $0,48 \times 0,0087$ est égal à 0,0041.

En négligeant $0,48\, m_0$ la formule se réduit à :

$$M = \left[606,5 + 0,305t_1 - t_0 + \frac{t_1 - t_0}{m_1 - m_0} 0,2378\right] W$$

que l'on écrit simplement en pratique :

$$M = \left[606,5 + 0,305t_1 - t_0 + \frac{t_1 - t_0}{m_1 - m_0} \times 0,24\right] W. \quad [5]$$

b. Quand on fait intervenir la chaleur artificielle, M n'est plus nul et la température t_1 est généralement supérieure à t_0.

Dans ce cas il faut fournir de la chaleur :

1° Pour vaporiser l'eau prise à t_0 et portée à la température t_1.

En admettant qu'on opère sur 1 kilogr. d'eau le nombre de calories nécessaire est donné par la formule :

$$606,5 + 0,305 t_1 - t_0.$$

Cette quantité varie peu avec la température, lorsque celle-ci reste comprise entre 30 et 80 degrés. En supposant que t_0 soit égal à 0°, cette chaleur de vaporisation varie de 615,6 à 630,9.

2° Pour chauffer de t_0 à t_1 l'air nécessaire à l'évaporation de 1 kilogr. de vapeur.

Cette quantité de chaleur se détermine au moyen de la relation:

$$\frac{t_1 - t_0}{m_1 - m_0} \times 0,2378.$$

Cette fonction doit être minima pour que la quantité de chaleur fournie M le soit aussi.

Or la fonction devient nulle dans deux cas :

1° Lorsque $t_1 = t_0$; et on a alors :

$$M = 606,5 + 0,305 t_0 - t_0.$$

Cette valeur de M représente la quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser l'eau à la température t_0.

Mais si la température reste t_0, c'est qu'on ne chauffe pas, c'est donc le cas de l'évaporation à l'air libre, opération lente et irrégulière dont nous avons signalé les inconvénients.

2° Lorsque $m_1 = \infty$, ce qui a lieu pour $H_1 = K_1 F_1$.

Cette condition est réalisée, lorque la tension $K_1 F_1$ de la vapeur dans le mélange sortant est égale à la pression du milieu où il se trouve. Pour cela il faut que la température soit celle de l'ébullition et que $K = 1$.

L'évaporation se produit alors sans l'intermédiaire de l'air :

$$P = \frac{V}{m - m_0} \qquad P = \frac{V}{\infty} = 0$$

et la valeur de M est $606,5 + 0,305\ t_1 - t_0$.

Pour toutes les valeurs intermédiaires la quantité de chaleur M est plus grande et elle passe par un maximum comme on peut le constater en examinant les deux tableaux qui suivent.

Quantités de chaleur à fournir pour évaporer 1 kil. d'eau à diverses températures comprises entre 0 et 100°.

L'air affluent étant supposé sec et à 0°.

Air sortant saturé. — $M = 606,5 + 0,305\,t_1 + \frac{t_1 \times 0,2378}{m_1}$

VALEURS de t_1	VALEURS de m_1	$0,305t_1$	$t_1 \times 0,2378$	$\frac{t_1 \times 0,2378}{m_1}$	M
0	»	»	»	»	606,500
5	0,005368	1,525	1,189	221,497	829,522
10	0,007620	3,050	2,378	312,073	921,623
15	0,010568	4,575	3,567	337,528	948,603
20	0,014573	6,100	4,756	326,356	938,956
30	0,026895	9,150	7,134	265,253	880,903
40	0,048429	12,200	9,512	196,411	815,111
50	0,085662	15,250	11,890	138,866	760,616
60	0,151432	18,300	14,268	94,220	719,020
70	0,275173	21,350	16,646	60,492	688,342
80	0,544057	24,400	19,024	34,966	665,866
90	1,393865	27,450	21,402	15,354	649,304
100	∞	∞	»	»	637,000

Air sortant à demi saturé. — $M = 606,5 + 0,305\,t_1 + \frac{t_1}{m_1} \times 0,2378$

VALEURS de t_1	VALEURS de m_1	$0,305t_1$	$t_1 \times 0,2378$	$\frac{t_1}{m_1} \times 0,2378$	M
0	»	»	»	»	606,500
5	0,002668	1,525	1,189	445,652	1053,677
10	0,003788	3,050	2,378	627,771	1237,321
15	0,005243	4,575	3,567	680,335	1291,410
20	0,007203	6,100	4,756	660,280	1272,880
30	0,013162	9,150	7,134	542,014	1157,664
40	0,023306	12,200	9,512	408,135	1026,835
50	0,040075	15,250	11,890	296,693	918,443
60	0,067499	18,300	14,268	211,380	836,180
70	0,112663	21,350	16,646	147,750	775,600
80	0,189256	24,400	19,024	100,519	731,419
90	0,328671	27,450	21,402	65,116	699,066
100	0,622000	30,500	23,780	38,231	675,231

On voit qu'à moins d'opérer à la température extérieure, il y aura toujours avantage à se rapprocher de 100° afin de chauffer le volume d'air le plus faible possible.

L'atmosphère n'est jamais complètement sèche, il faut donc pour l'évaporation un volume d'air plus important et une quantité de chaleur plus considérable que celles qui viennent d'être calculées.

D'après diverses expériences de Péclet sur le refroidissement d'un vase plein d'eau chaude exposé à l'air, les quantités de chaleur nécessaires pour vaporiser 1 kilogr. d'eau aux températures de

20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°

sont en calories

1370	1160	1070	840	760	720	690	660

L'air extérieur étant à 15°.

Ces nombres et ceux des tableaux qui précèdent font voir que la quantité de chaleur à dépenser pour l'évaporation est toujours bien plus considérable lorsqu'on opère avec de l'air peu chauffé et que cette dépense augmente lorsque le degré de saturation de l'air qui s'échappe diminue.

Le maximum de dépense a lieu quand l'air ne s'échauffe qu'à une température comprise entre 15 et 20°. A cette température l'air s'échappant à moitié saturé, la dépense de chaleur est environ le double de celle qu'il faudrait faire si l'évaporation se produisait à 100° sans l'intervention de l'air atmosphérique.

c. La chaleur, au lieu d'être fournie par un foyer spécial chauffant directement le liquide, pourrait être apportée par l'air affluent, chauffé lui-même préalablement dans un calorifère. La température T que cet air devrait avoir à l'entrée est donnée par la relation

$$P \times 0{,}2378(T - t_1) + W_0 \times 0{,}480(T - t_1) = (606{,}5 + 0{,}305 t_1 - t_0)W$$

et comme

$$P = \frac{W}{m_1 - m_0} \qquad \text{et} \qquad W_0 = \frac{m_0}{m_1 - m_0} W$$

on a

$$\frac{T-t_1}{m_1-m_0}(0,2378+m_0\times 0,480)=606,5+0,305t_1-t_0$$

et en négligeant $m_0 \times 0,480$

$$T-t_1=\frac{m_1-m_0}{0,24}(606,5+0,305t_1-t_0). \qquad [6]$$

Quand on connaît les températures t_1 et t_0 et les degrés de saturation il est facile de calculer T.

Ainsi pour $t_0 = 0$, $K_1 = 1$, c'est-à-dire pour de l'air saturé à la sortie et pour $K_0 = 0$, c'est-à-dire en supposant l'air sec à l'entrée, la formule [6] devient :

$$T=t_1+\frac{m_1}{0,24}(606,5+0,305t_1) \qquad [7]$$

et les valeurs de T sont les suivantes.

Calcul de T. — $T=t_1+\frac{m_1}{0,24}(606,5+0,305t_1)$.

t_1	m_1	$0,305\,t_1$	$\underbrace{(606,5+0,305t_1)}_{(a)}$	$A=\frac{m_1\times(a)}{0,24}$	$T=A+t_1$
0	0,003788	»	606,5	9,65	9,7
5	0,005368	1,525	608,025	13,72	18,7
10	0,007620	3,050	609,550	19,53	29,5
15	0,010568	4,575	611,075	27,15	42,2
20	0,014573	6,100	612,600	37,54	57,5
30	0,026895	9,150	615,650	69,62	99,6
40	0,048429	12,200	618,700	126,00	166,0
50	0,085662	15,250	621,750	224,00	274,0
60	0,151432	18,300	624,800	398,00	458,0
70	0,275173	21,350	627,850	727,00	797,0
80	0,544057	24,400	630,950	1443,00	1523,0
90	1,393865	27,450	633,900	3716,00	3806,0
100	∞	∞	∞	∞	∞

Si le degré de saturation K_1 était 0,50 le volume de l'air augmenterait et la température d'entrée diminuerait en conséquence.

967. L'évaporation par l'intermédiaire de l'air ne saurait être avantageuse que lorsqu'on a des chaleurs perdues à utiliser.

Les machines à vapeur qui mettent en mouvement aux colonies les broyeurs de cannes à sucre sont généralement des machines sans condensation dont la vapeur sort à 100°. On s'en servait pour évaporer à l'air libre à une température de 60° ou 70° les jus sucrés dont le point d'ébullition est 102° ou 103°;

L'appareil dans lequel arrive la vapeur se compose d'un

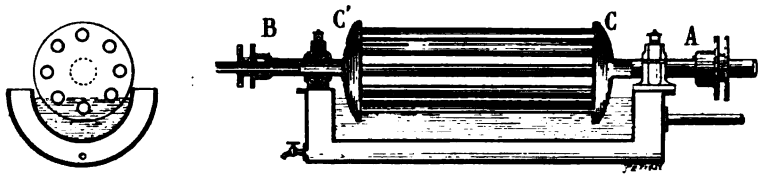


Fig. 545.

disque creux C qui est réuni à un autre C' par un faisceau tubulaire (fig. 545).

Le tout est mobile autour d'un axe creux relié au moyen de presse-étoupe aux conduits d'arrivée et de départ de vapeur et plonge dans une bassine qui contient le jus sucré. La bassine a un double fond également chauffé par la vapeur.

On donne à l'appareil, au moyen d'une poulie, un mouvement de rotation continu qui expose constamment le jus sucré au contact de l'air et facilite l'évaporation.

La dépense de chaleur est considérable, mais elle coûte peu parce que c'est une utilisation de chaleur perdue. Cet appareil ne s'installe plus aujourd'hui, il a disparu pour faire place à ceux plus perfectionnés que nous étudierons plus loin.

968. Four Porion pour l'évaporation des vinasses de betterave. — Le four Porion (fig. 547) a pour but la concentration des liquides et spécialement de ceux qui, formant les résidus insalubres de certaines industries, sont encombrants et causent souvent de grands ennuis.

Une des principales applications se trouve dans le traitement des vinasses de distillerie et des eaux de lessivage de la pâte de bois ou de paille dans les papeteries; ces deux matières renferment

une notable quantité de soude qu'il est intéressant de récupérer.

L'appareil que nous allons décrire est destiné à l'évaporation des vinasses et peut traiter 1,600 hectolitres par journée de 24 heures.

L'opération comprend deux phases successives : la concentration et l'incinération. La concentration s'effectue dans le carneau *e* situé près de la cheminée et l'incinération s'opère dans la série de fours à réverbère *a*. Les masses à évaporer arrivent des réservoirs, où elles sont emmagasinées, par un tuyau muni d'un robinet à flotteur L destiné à maintenir constant le niveau du liquide, qui couvre sur une épaisseur de $0^m,20$ tout le fond de la cheminée et le radier du carneau *e*.

Pour activer l'évaporation, on a monté deux et même parfois trois arbres *g* munis de bras de 0,05 de diamètre terminés par des sortes de cuillers et plongeant d'une dizaine de centimètres dans le liquide. Ces arbres et ces ailettes sont animés d'un mouvement de rotation de 300 à 400 tours par minute et projettent jusqu'à la voûte une pluie de gouttelettes en sens inverse du mouvement des gaz chauds qui se rendent à la cheminée.

Les surfaces de contact sont ainsi tellement multipliées que les gaz chargés de vapeur s'échappent à une température de 60 à 80° seulement.

Quand le liquide a atteint un degré de concentration suffisant, on le fait écouler par des carneaux découverts dans les fours à incinérer; ceux-ci sont chauffés par de la houille qui brûle sur 4 grilles, adossées deux à deux, qu'on peut voir en plan sur la figure 547.

Le liquide achève d'abord de se concentrer et, bientôt, il se dégage de la masse une grande quantité de gaz qui s'enflamment au contact de l'air neuf qu'on laisse pénétrer par des ouvertures spéciales pratiquées dans la paroi d'extrémité *c* du four.

Pour obtenir une combustion plus parfaite et une meilleure utilisation, on divise le courant d'air en une série de petits jets au moyen d'une cloison, disposée à l'intérieur du four et formée de plaques de fonte *d*, percées d'un grand nombre de petites ouvertures.

Pendant que la masse est en feu et se calcine, il faut la remuer énergiquement avec un ringard ; cette opération très pénible, qui dure parfois une heure, exige la présence d'un homme pour le service d'un four à incinérer.

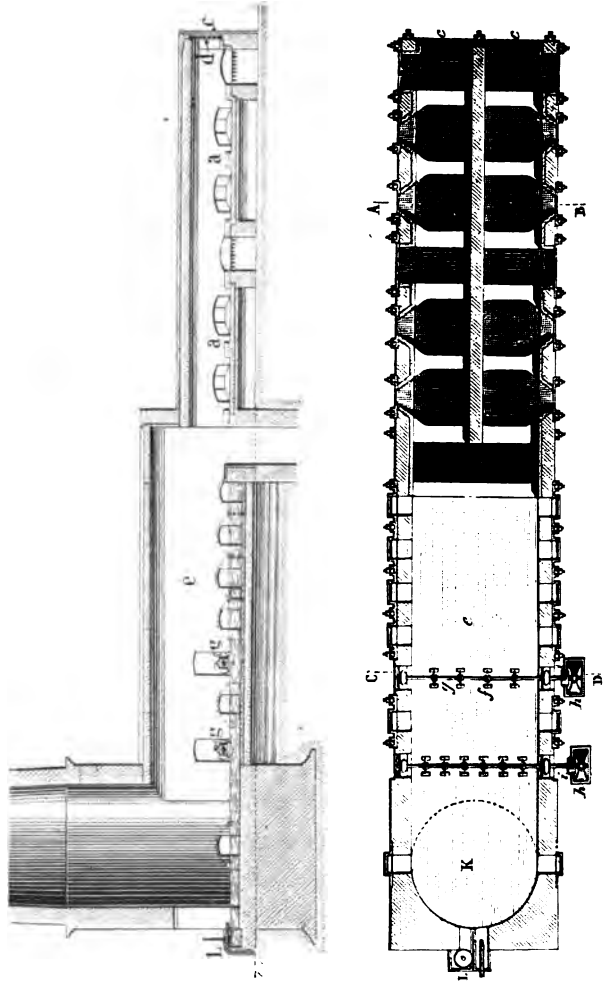


Fig. 516-517.

Entre le carneau *e* d'évaporation et la chambre d'incinération se trouve un large espace destiné à permettre le dépôt des poussières salines ainsi que des cendres provenant des matières incinérées et qu'entraînent avec eux les produits de la combustion.

On utilise souvent les gaz chauds sortant de générateurs de vapeur pour produire l'évaporation avec une moindre dépense de combustible.

Dans les papeteries et les distilleries, on a constaté que la quantité d'eau enlevée par ce procédé pouvait atteindre 19 à 20 kilogr. par kilogramme de houille brûlée sur les grilles. A première vue, ces résultats dépassent le rendement théorique, mais il faut avoir soin de remarquer qu'on devrait compter la chaleur fournie par les foyers des générateurs et celle provenant de la combustion des matières organiques renfermées dans la masse en traitement sur les soles des fours *a*. Il faudrait de plus tenir compte de la chaleur dépensée par la machine servant à actionner les arbres des agitateurs. Cette chaleur correspond à un travail d'environ 2 chevaux pour chacun d'eux, soit 100 kilogr. de houille par 24 heures et par arbre.

Il est en outre probable que l'évaporation n'est pas tout à fait ce qu'elle paraît être. On doit perdre du liquide par entraînement à la cheminée ainsi que par infiltration dans les maçonneries et il peut y avoir altération des matières salines traitées au contact des produits de la combustion de la houille. Quoi qu'il en soit, le four Porion est assez économique et rend des services dans les usines où il est employé.

§ II

ÉVAPORATION A LA TEMPÉRATURE DE L'ÉBULLITION.

Quand on n'a pas de chaleur perdue à utiliser, il est plus économique d'opérer l'évaporation à la température d'ébullition.

Cette ébullition se produit à une température d'autant moins élevée que la pression est plus faible et on a souvent avantage à faire un vide partiel dans les appareils, afin d'abaisser cette température et d'éviter l'altération des matières traitées, comme par exemple, lorsqu'il s'agit de jus sucrés.

Quand on opère à l'air libre, la température d'ébullition de l'eau contenant des matières dissoutes s'élève au-dessus de 100°; c'est généralement le cas des liquides sucrés ou salés qu'on soumet à l'évaporation.

Nous considérerons deux cas :

1° Évaporation sous la pression atmosphérique.

2° Évaporation dans le vide.

ÉVAPORATION SOUS LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE.

969. On peut employer, pour chauffer le liquide à évaporer, la plupart des générateurs de vapeur et des chaudières à eau chaude. La chaudière à vapeur représente le meilleur type d'appareil qu'on puisse utiliser dans ce but. Cependant ce n'est qu'exceptionnellement qu'on a recours à son emploi.

Lorsqu'on opère sur des dissolutions sucrées, on tient à ce que l'évaporation se produise dans un temps très court, afin de mettre le plus promptement possible ces dissolutions à l'abri de l'altération qu'elles subissent toujours au contact de l'air quand elles sont portées à la température de l'ébullition. Pour chauffer

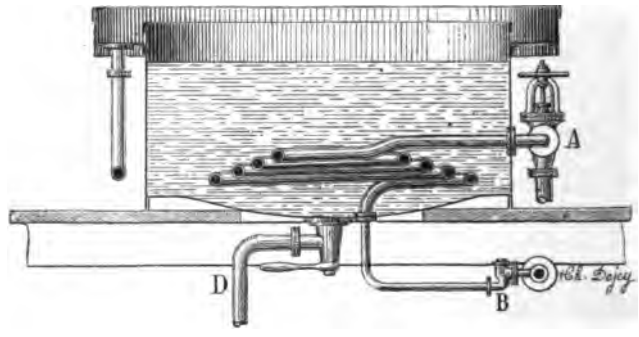


Fig. 548.

rapidement on se sert de vapeur que l'on fait passer dans des serpentins disposés à l'intérieur des bassines servant à l'évaporation. La vapeur arrive en A (fig. 548) par l'extrémité supérieure du serpentin, et l'eau condensée s'échappe au point le

plus bas par le robinet B. Le liquide concentré peut être évacué par un tuyau D placé sous l'appareil.

Le serpentin se compose parfois de deux tubes distincts qui conduisent la vapeur, l'un du centre à la circonférence et l'autre de la circonférence au centre, de manière à rendre l'ébullition plus égale. En général, on donne aux serpentins une surface de chauffe telle qu'il suffise de sept à huit minutes de chauffage pour effectuer la concentration.

On peut encore opérer plus vite en faisant circuler le liquide en sens inverse de la vapeur; on obtient ce résultat en disposant dans la bassine une cloison en hélice qui contourne le serpentin de vapeur.

On a eu l'idée de profiter de la plus grande densité du jus concentré pour le séparer pendant l'opération même. La bassine se compose alors de deux vases en forme de tronc de cône, placés l'un dans l'autre, et dans lesquels circule le liquide. Le serpentin est disposé à la partie supérieure du vase intérieur. La différence de densité résultant de la concentration suffit à produire le mouvement du liquide; ce dernier se concentre, tombe au fond du vase et on le fait écouler au moyen d'un robinet.

Dans toutes ces opérations, il se dégage des bassines une masse de vapeur très incommode; on peut s'en débarrasser en couvrant les chaudières d'un couvercle métallique de forme conique, surmonté d'un conduit également en métal qui évacue la vapeur au-dessus du toit de l'usine. A la partie supérieure de la chaudière est une rigole intérieure dans laquelle se réunit l'eau de condensation déposée par cette vapeur, sur les parois du couvercle et du conduit; on assure l'écoulement de cette eau au moyen d'un petit tuyau.

Quelquefois, pour évaporer plus vite, on met plusieurs étages de serpentins dans la même chaudière.

970. On peut encore opérer le chauffage au moyen de chaudières à double fond (fig. 549-550). La vapeur arrive par le tuyau A, dans l'espace compris entre les deux fonds et l'eau condensée s'écoule par le tube B.

Quant au liquide, lorsqu'il est suffisamment concentré, on le

fait évacuer par le conduit D, qui débouche au point le plus bas du fond supérieur et traverse la chambre de vapeur; cette dernière est munie d'un robinet de purge d'air C, que l'on ouvre

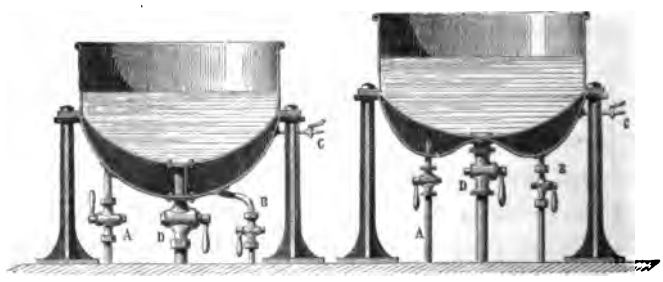


Fig. 549-550.

au commencement de l'opération, et même de temps en temps pendant le chauffage pour se débarrasser de l'air entraîné par la vapeur et qui provient de l'eau d'alimentation des générateurs.

ÉVAPORATION DANS LE VIDE.

971. Les appareils au moyen desquels l'évaporation se fait dans le vide présentent l'avantage de permettre d'opérer à une basse température et à l'abri du contact de l'air; ce mode de procéder est favorable à la non-altération des jus sucrés.

972. L'appareil de Roth (fig. 551), un des premiers construits, se compose d'une chaudière et d'un condenseur. La chaudière A formée de deux calottes sphériques en cuivre réunies par des brides. La calotte inférieure, qui reçoit le liquide à évaporer, est munie d'un double fond et d'un serpentin B. Cette disposition a été prise en vue d'augmenter autant que possible la surface de chauffe et d'accélérer l'évaporation. Deux ouvertures opposées munies de glaces permettent de surveiller l'ébullition.

La vapeur d'eau destinée au chauffage est amenée dans le double fond par le tuyau F et dans le serpentin par le tuyau G; chacun de ces tuyaux est muni d'un robinet servant à régler l'admission de la vapeur. L'eau condensée s'écoule par les tuyaux

F' et G'. Une prise de vapeur spéciale pourvue d'un robinet H permet d'introduire de la vapeur dans la chaudière pour le nettoyage. Le jus sucré à concentrer est emmagasiné dans un réservoir et arrive par le robinet K dans la chaudière où l'on a préalablement fait le vide ; le sirop concentré est évacué par le robinet L, et les vapeurs qui se dégagent pendant l'évaporation

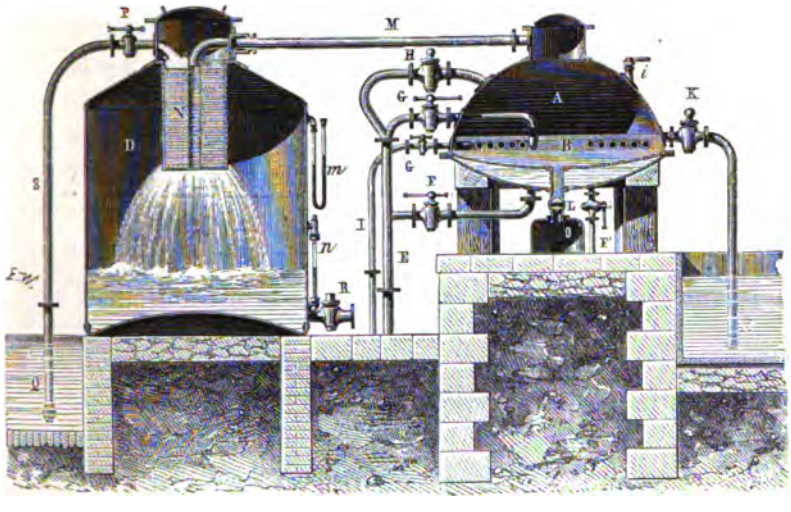


Fig. 551.

s'échappent par le tuyau M et se rendent au condenseur B dans lequel on injecte constamment de l'eau froide pour produire la condensation.

Une pompe appelée *pompe à air* sert non seulement à extraire l'eau condensée et l'eau injectée, mais encore l'air qui, dissous dans cette dernière, se dégage dans le vide. On emploie généralement les condenseurs et pompes à air des machines à vapeur. Si l'on dispose d'eau bien froide, la condensation peut s'effectuer à basse température, et à l'aide d'une bonne pompe à air, on peut obtenir dans la chaudière un vide variant de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{20}$ d'atmosphère, ce qui correspond pour la vapeur à une température comprise 46°,25 et 33°,3.

La vapeur de chauffage peut être à 100° et venir d'une ma-

chine sans condensation. Il suffit en général de maintenir au minimum une différence de température de 20° entre la température de la vapeur et celle du liquide chauffé.

973. La condensation de la vapeur exige la dépense d'une grande quantité d'eau.

En effet, soit :

W le poids de vapeur à condenser;

P le poids d'eau nécessaire;

t la température à laquelle se fait la condensation et au-dessous de laquelle le mélange ne descend pas;

θ la température initiale de l'eau.

On a entre ces quantités la relation

$$P(t-\theta)=W(606,5+0,305t-t),$$

Pour $\theta=15$ et $t=45$, correspondant à $\frac{1}{10}$ d'atmosphère environ il vient

$$P(45-15)=(606,5+0,305\times 45-45)W;$$

d'où

$$P=19W.$$

Il faut 19 kilogr. d'eau par kilogr. de vapeur. En pratique, ce chiffre est souvent dépassé.

Pour réduire la quantité d'eau employée, on a imaginé de faire la condensation par de l'eau s'évaporant au contact de l'air. Le condenseur, au lieu d'être un appareil à injection, est un appareil à surfaces, permettant de recueillir l'eau distillée pure, afin de l'employer à l'alimentation des générateurs.

Le condenseur se compose d'une série de tuyaux horizontaux superposés dans lesquels se rend la vapeur à condenser. Pour obtenir le refroidissement, on fait couler régulièrement sur ce tuyau de l'eau froide qui s'évapore au contact de l'air. On facilite cette évaporation en plaçant l'appareil entre deux cloisons qui forment cheminée, ce qui permet d'activer la circulation de l'air et d'obtenir une évaporation plus rapide.

D'après Cail, la surface de ces condenseurs devrait être égale

à celle des chaudières, ce qui correspondrait à 15 kilogr. de vapeur condensée par mètre carré et par heure. Cela doit beaucoup varier avec la température de l'eau et l'état de l'atmosphère.

Au lieu d'eau coulant sur les tubes, on s'est servi du jus sucré qui devait être évaporé et qu'on commençait ainsi à chauffer. Il y avait économie de chaleur mais altération du jus au contact de l'air. L'opération n'est d'ailleurs nullement régulière et les dépôts qui se font sur les tubes réduisent la transmission de chaleur et par suite entravent le refroidissement.

974. Chaudière à cuire dans le vide. — Une application des plus importantes de l'évaporation dans le vide est réalisée dans la chaudière à cuire employée dans les sucreries. Sans nous arrêter aux différentes phases de perfectionnement de cet appareil, nous allons décrire le modèle le plus récent construit par la Société des anciens établissements Cail, en prenant pour type celui qui était installé à l'Exposition Universelle de 1889.

La chaudière à cuire (fig. 552-553) se compose d'un cylindre vertical muni d'un fond sensiblement hémisphérique et d'un couvercle bombé, surmonté d'un dôme formant vase de sûreté dans lequel se fait la séparation de la vapeur et des vésicules liquides qu'elle entraîne. A l'intérieur de la chaudière se trouvent plusieurs serpentins (cinq dans le cas de la figure) que parcourt la vapeur de chauffage.

Cette vapeur provient, à volonté, soit de l'échappement des machines, soit directement des générateurs de l'usine. A cet effet, la tubulure supérieure de chaque serpentin est pourvue de deux robinets, l'un de petit diamètre placé sur la conduite de vapeur en pression venant des générateurs, l'autre de diamètre plus considérable commmuniquant avec le collecteur d'échappement des diverses machines. Le serpentin le plus voisin du fond inférieur de l'appareil à cuire est formé de deux tronçons branchés tous deux sur la même tubulure et qui reçoivent toujours la vapeur en même temps. Les autres serpentins peuvent fonctionner séparément ou simultanément suivant les besoins et l'état d'avancement de l'opération.

Une conduite unique placée sous l'appareil permet l'écoule-

ment des eaux de condensation provenant des divers serpentins. L'extrémité inférieure de chaque serpentin est pourvue d'un clapet de retenue, afin d'empêcher la vapeur de passer d'un serpentin chauffé dans un autre qui ne le serait pas.

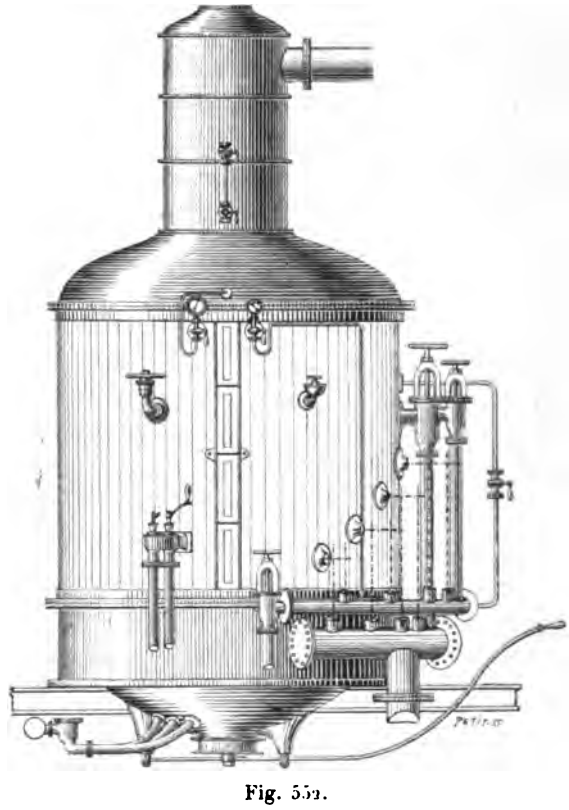


Fig. 559.

Les appareils que l'on construisait à l'origine ne renfermaient qu'un serpentin, mais quand on commença à donner de grandes dimensions aux chaudières à cuire, il fallut augmenter l'importance de la surface de chauffe, ce qu'on obtint en allongeant le serpentin. Mais il arriva que la vapeur introduite était condensée avant d'atteindre les dernières spires. Celles-ci restaient remplies d'eau de condensation et toute la surface de chauffe correspondante était inutilisée. Pour supprimer à cet inconvénient, on établit plusieurs serpentins superposés dont l'ensemble

constitue la surface de chauffe nécessaire au service de l'appareil.

On peut se servir de la vapeur d'échappement des machines au début de l'opération, c'est-à-dire pendant la concentration du sirop et la première partie de la cuite. Mais, lorsque la masse est pâteuse, on chauffe avec de la vapeur en pression.

L'eau fournie par la condensation de la vapeur prise aux générateurs qui fonctionnent à la pression de 5 à 6 kilogr., peut parfois conserver pendant l'opération une température supérieure à 100°. Sortant à l'air libre, cette eau abandonne instantanément l'excès de chaleur qu'elle renfermait et forme de la vapeur qui se dégage et se trouve ainsi perdue. On a cherché à réaliser une certaine économie de combustible en reprenant dans le serpentin, à la pression où elle se trouve et à mesure de sa formation, l'eau provenant de la condensation. Cette opération se fait au moyen d'une pompe qui reçoit directement le liquide en charge et le refoule dans les générateurs.

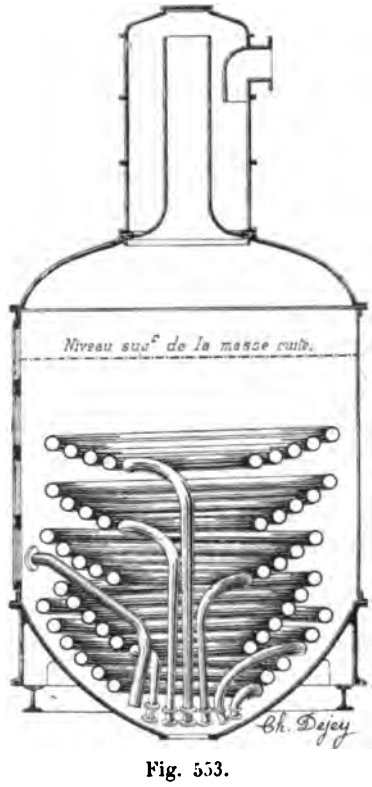


Fig. 553.

Nous allons maintenant indiquer la manière d'effectuer une opération avec l'appareil à cuire.

On commence par mettre en service la pompe à air et on ouvre le robinet d'injection d'eau froide au condenseur. Lorsque le vide est produit, on fait arriver le sirop en quantité suffisante pour que, après la concentration, il recouvre encore le serpentin inférieur dans lequel on envoie la vapeur pour produire l'évaporation; au bout d'un certain temps, lorsque la concen-

tration est parvenue au degré voulu, on introduit du sirop par petites quantités à la fois.

Il se forme, dans toute la masse en traitement, des grains ou cristaux presque imperceptibles. Aussitôt que ceux-ci sont nettement formés, on alimente avec précaution d'une manière continue. Si l'on introduisait trop de sirop à la fois, on redissoudrait les cristaux formés, mais en conduisant convenablemt l'alimentation, ceux-ci grossissent peu à peu, pendant que le niveau du liquide monte graduellement dans la chaudière et vient recouvrir successivement les divers serpentins. On a le soin de n'introduire la vapeur de chauffage que dans les serpentins immergés, afin de ne pas exposer le liquide sucré projeté par l'ébullition à subir une altération par suite de son contact avec des surfaces chauffantes dont la température serait trop élevée.

A la fin de l'opération, la masse cuite devenant de plus en plus pâteuse, on chauffe avec de la vapeur directe afin d'augmenter l'écart de température entre la surface chauffante et le produit chauffé. Quand la chaudière est suffisamment remplie, on ferme l'arrivée de jus, puis on laisse la concentration s'achever et arriver au degré convenable, c'est ce que l'on appelle *serrer la cuite*.

Aussitôt que l'ouvrier reconnaît que la masse cuite est à point, il ferme les robinets de vapeur et d'eau, fait arrêter la pompe à air et rétablit la pression atmosphérique dans la chaudière. Il ouvre alors le tampon inférieur de l'appareil et la masse cuite s'écoule. Quand la vidange est opérée, il referme le tampon et nettoie la chaudière au moyen d'une injection de vapeur qui dissout en partie et entraîne les cristaux de sucre adhérents aux serpentins ainsi qu'aux parois de la chaudière. Aussitôt ce nettoyage effectué, on peut recommencer une nouvelle opération.

Il nous reste à décrire le condenseur servant à produire le vide dans la chaudière à cuire.

Le condenseur se compose d'une colonne métallique creuse (fig. 554) dont la partie supérieure est logée dans un réservoir faisant office de vase de sûreté, destiné à arrêter les mousses et portions de sirop qui pourraient déborder pendant l'opération de la cuite.

Un niveau à tube de verre indique la hauteur du sirop dans le vase de sûreté et un robinet placé à la partie inférieure de la colonne sert, après chaque cuite, lorsque la pression atmosphérique est rétablie dans la chaudière, à extraire le sirop ainsi recueilli.

Le vase de sûreté est aujourd'hui disposé directement à la partie supérieure de la chaudière à cuire et la colonne se compose uniquement d'un cylindre dans lequel se fait l'injection d'eau destinée à produire la condensation des vapeurs émises par le liquide traité dans la chaudière à cuire.

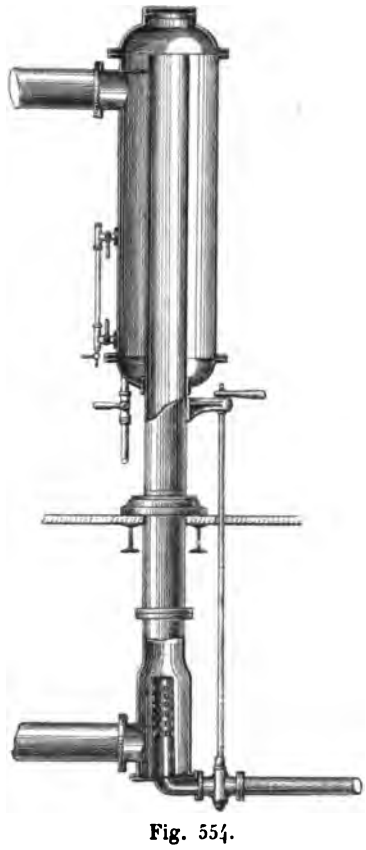


Fig. 554.

Dans la partie basse du cylindre condenseur, quelle que soit la disposition adoptée pour le vase de sûreté, se trouve disposé un tuyau percé d'un grand nombre de petits orifices par lesquels est projetée l'eau froide servant à la condensation. La vapeur à condenser arrive par une tubulure réservée à la partie supérieure du condenseur, tandis qu'une autre située à la base établit la communication avec la pompe à air qui aspire à la fois l'eau injectée et l'eau provenant de la condensation des vapeurs émises par le liquide traité dans la chaudière à cuire.

§ III

ÉVAPORATION A EFFETS MULTIPLES

975. Quand on fait usage des appareils que nous avons décrits jusqu'ici, on perd dans l'atmosphère les vapeurs prove-

nant de l'évaporation et qui contiennent à l'état latent une quantité de chaleur considérable, ou bien on rejette l'eau chaude sortant du condenseur.

Déjà, pour récupérer une partie de cette chaleur, M. Degrand et, après lui, Derosne et Cail avaient imaginé de faire passer les vapeurs dans un condenseur formé de serpentins sur la surface desquels on faisait couler le liquide à traiter, qui subissait ainsi un commencement de concentration.

Parfois les serpentins étaient placés dans une gaine métallique, dans le but d'augmenter la vitesse de circulation de l'air et d'activer l'évaporation.

Ces appareils ne sont plus guère employés aujourd'hui et on leur en préfère d'autres, dits à effets multiples, analogues à ceux que nous avons décrits à propos de la distillation (pag. 304 et suiv.). Ils se composent essentiellement de plusieurs chaudières disposées les unes à la suite des autres, de manière que les vapeurs provenant de l'évaporation du liquide traité dans la première soient utilisées pour chauffer et concentrer les matières placées dans la seconde, et ainsi de suite.

Les pressions vont en décroissant depuis la première chaudière jusqu'à la dernière, de telle sorte que, dans chacune d'elles, il y ait un écart de température suffisant pour que les vapeurs provenant de l'une quelconque d'entre elles puissent suffire à produire l'ébullition dans la suivante.

976. Appareil à triple effet. — L'application de ce principe se trouve réalisée en grand dans l'appareil d'évaporation, dit *à triple effet*, employé dans les sucreries pour concentrer, après épuration par la carbonation, les jus sucrés extraits de la betterave.

Cet appareil est généralement composé de trois chaudières, dans lesquelles passe successivement le liquide à concentrer et où il se trouve soumis à des températures variables d'une chaudière à la suivante et décroissant à mesure que le degré de concentration est plus élevé.

Cet appareil présente un grand intérêt au point de vue industriel, car, en outre de l'économie de combustible qu'il permet de réaliser, l'évaporation s'effectuant à basse pression et par suite

à température peu élevée, le jus sucré ne s'altère pas sous l'action de la chaleur.

Nous allons donner la description de l'appareil à triple effet construit par la Société des anciens établissements Cail et installé à l'Exposition Universelle de 1889. C'est le type d'appareil d'évaporation le plus récent construit dans ces usines.

L'appareil se compose de trois chaudières ou caisses cylindriques ABC, recevant le jus à évaporer et disposées pour que les vapeurs provenant de l'une des chaudières servent à évaporer le liquide contenu dans la caisse suivante.

Chaque chaudière se compose d'une calandre verticale, pourvue de deux plaques horizontales en cuivre percées d'orifices dans lesquels viennent se fixer les tubes en laiton qui composent le faisceau tubulaire. On obtient ainsi autour des tubes du faisceau tubulaire une chambre isolée dans laquelle on fait arriver la vapeur destinée au chauffage du liquide à évaporer.

Le fond inférieur des chaudières est formé par un couvercle bombé laissant une chambre libre sous le faisceau tubulaire. Le fond supérieur est également bombé et porte en son milieu un vase de sûreté destiné à retenir le liquide qui déborde ou qui est entraîné par les vapeurs sortant de l'appareil.

Le niveau du liquide dans les caisses du triple effet est ordinairement maintenu à $0^m,20$ au-dessus du faisceau tubulaire.

La première caisse est chauffée par de la vapeur à faible pression dont la température atteint rarement 110 degrés. Cette vapeur provient de l'échappement des machines de l'usine ou des retours des serpentins servant à chauffer les bacs à carbonater les jus et à chauffer les sirops. Lorsque la quantité de vapeur ainsi fournie est insuffisante, on emprunte de la vapeur vierge aux générateurs de l'établissement.

Pour faciliter la transmission de la chaleur et activer l'évaporation, on maintient dans les chaudières du triple effet un vide relatif allant en augmentant de la première à la troisième caisse.

Ainsi, dans la première caisse chauffée avec la vapeur d'échappement on maintient uue pression de $0^m,62$ à $0^m,65$ de mercure, correspondant pour les jus à une température d'ébullition de 94°

et 96°. A l'air libre, le jus sucré dilué des sucreries entre en ébullition à 100° environ; comme la température de la vapeur est souvent voisine de 106°; on voit que l'écart de température entre le fluide chauffant et le liquide chauffé, au lieu d'être seulement de 6°, se trouve porté à 12°.

Les vapeurs qui se dégagent de la caisse A traversent le vase de sûreté I et passent par le tuyau D pour se rendre dans la chambre qui entoure le faisceau tubulaire de la caisse B, où elles sont employées au chauffage du jus sucré que renferme celle-ci.

La pression dans la chaudière B est souvent réduite à $0^m,35$ de mercure, et la vapeur produite par l'ébullition est alors à la température de 80°. L'écart de température entre les deux milieux est de 14°.

Cette nouvelle vapeur se rend dans la chambre entourant le faisceau de tubes de la troisième caisse C par la conduite E et après avoir traversé le vase de sûreté de la chaudière B.

La pression maintenue dans la caisse C n'est en général que de $0^m,11$ à $0^m,15$ de mercure et la vapeur s'échappe entre 54° et 60°. L'écart de température entre la deuxième et la troisième caisse est donc environ de 25°.

On voit d'après ce qui précède que la température à laquelle se fait l'évaporation du jus diminue en passant d'une caisse à l'autre, c'est-à-dire à mesure que s'effectue la concentration. Cet abaissement progressif de la température, favorable à la transmission de la chaleur, permet d'éviter l'altération des jus sucrés soumis à l'évaporation.

La vapeur formée dans la caisse C traverse le vase de sûreté de cette dernière et se rend directement au condenseur. Cependant, dans certains cas, on la fait passer dans un *réchauffeur ou condenseur à surface* destiné, comme nous le verrons plus loin, à commencer le chauffage des jus avant la première carbonatation.

La circulation du jus sucré à concentrer se fait dans le même sens que la circulation de la vapeur. Le jus provenant du récipient d'alimentation s'écoule par le tuyau qui aboutit au robinet *a* placé en contre-haut du faisceau tubulaire de la première

caisse A. Le jus introduit est soumis à l'évaporation, et lorsqu'il marque 8° B., on le fait passer dans la deuxième chaudière, où il est concentré à 13° ou 15° B.; on l'envoie ensuite dans la troisième, où on l'amène à 18° ou 20° B.

Les tuyaux de communication entre les chaudières vont en augmentant de section à mesure que le jus est plus épais.

Pour la mise en train, on commence par mettre en marche la pompe à air et on alimente d'eau le condenseur; lorsque le vide est suffisant pour permettre d'aspirer le jus à évaporer, on remplit les trois chaudières jusqu'à $0^m,20$ au-dessus du faisceau de tubes, et on fait arriver la vapeur dans la chambre de la première caisse.

Le liquide entre en ébullition, sa vapeur va chauffer la seconde caisse et le régime s'établit ainsi progressivement. Lorsque les jus sont arrivés au degré de concentration voulu (ce que l'on constate par une épreuve à l'aréomètre), on fait évacuer une partie du sirop de la troisième chaudière et on le remplace par du jus pris dans la seconde. Celle-ci est alimentée par la première, dans laquelle on introduit à nouveau du jus à concentrer.

Le sirop sortant de la troisième caisse du triple effet est reçu dans un monte-jus ou repris par une pompe spéciale. On l'envoie dans une bâche munie d'un serpentin où on le réchauffe avant de le faire passer dans les filtres à noir et de l'envoyer à la chaudière à cuire.

L'eau provenant de la condensation des vapeurs dans la première chaudière fait retour à la bâche d'alimentation; celle des deux autres est aspirée par la pompe à air ou par une pompe spéciale. Il s'ensuit qu'il est de la plus grande importance d'éviter tout entraînement de jus sucré, puisque ce dernier serait perdu. Aussi a-t-on établi sur chaque chaudière le vase de sûreté dont nous avons parlé et qui n'est, en réalité, qu'un séparateur de vapeur et d'eau entraînée. Autrefois ces vases de sûreté étaient généralement placés à côté des chaudières; ils sont aujourd'hui établis directement au-dessus des caisses des nouveaux appareils. Cette disposition a permis de réduire l'emplacement occupé par l'ensemble du triple effet et de laisser rentrer directement dans les chaudières le sirop entraîné par la vapeur.

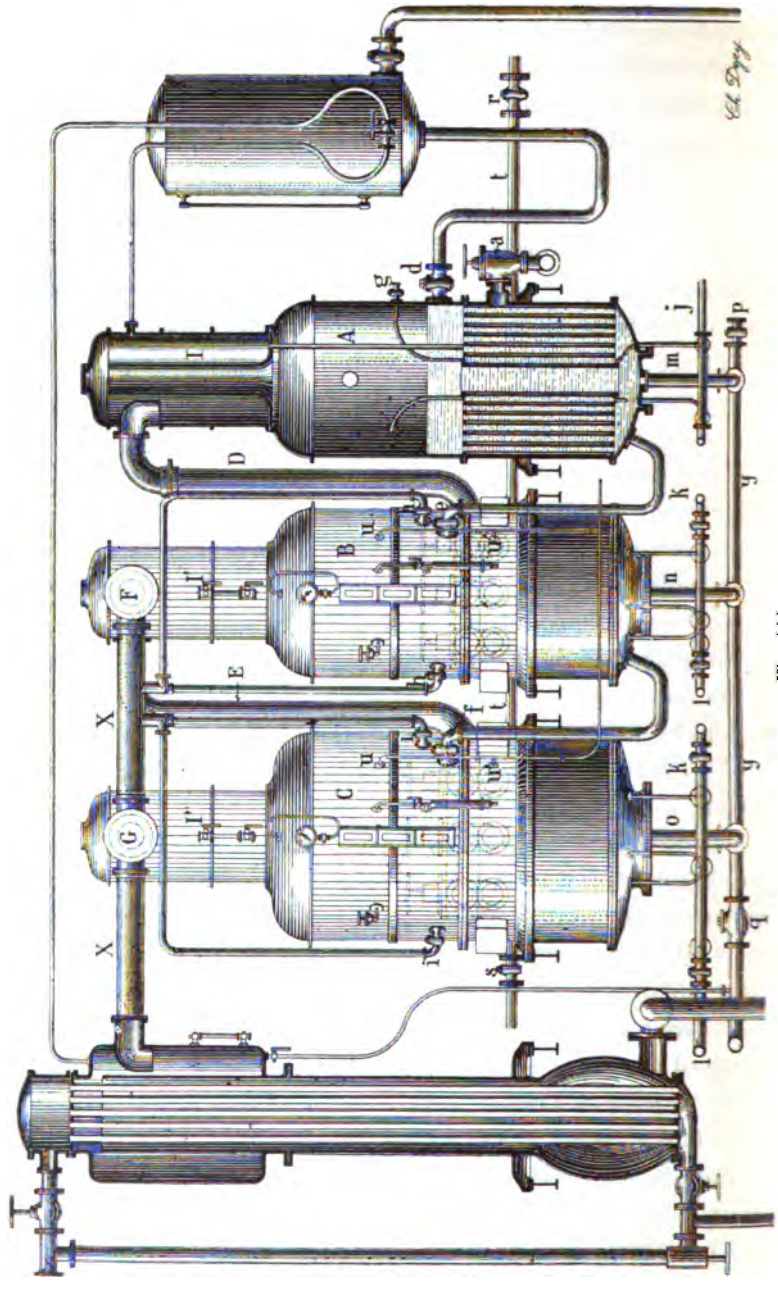


Fig. 555.

Chacun des vases de sûreté est représenté en I I′ I″ ; la vue en coupe que nous donnons de l'un d'eux laisse voir suffisamment leur disposition intérieure et permet de se rendre compte de leur effet.

Les vases de sûreté sont, en général, munis d'un tube de niveau servant à reconnaître s'il y a entraînement de liquide.

LÉGENDE DU TRIPLE EFFET.

A,B,C chaudières d'évaporation.

I,I′,I″ appareils de sûreté destinés à retenir le jus sucré entraîné par la vapeur.

g robinet de sortie de l'air de la chambre de vapeur de la première chaudière (les robinets d'air sont au nombre de 3).

h,h robinets de sortie des vapeurs non condensables de la deuxième chaudière (ces robinets sont au nombre de 3).

i,i robinet de sortie des vapeurs non condensables de la troisième chaudière (au nombre de 3).

j retour d'eau de condensation de la première caisse.

k,k, — — des deuxième et troisième caisses, en communication directe avec une pompe spéciale de retour.

l,l retour d'eau de condensation des deuxième et troisième caisses, en communication avec le condenseur.

m,n,o vidange de jus des 3 chaudières.

p robinet de vidange des sirops.

q — — eaux de lavage.

r robinet de prise des eaux de lavage.

s — — acidulées.

t conduite de l'eau de lavage servant également pour l'eau acidulée.

u,u robinet de prise de vapeur de lavage des chaudières 2 et 3 (il y en a également un sur la chaudière 1).

u′,u′ robinet de prise de vapeur de lavage des chambres de vapeur des chaudières 2 et 3.

Une grande préoccupation des constructeurs d'appareils à triple effet a été la bonne répartition de la chaleur dans les chambres de vapeur ; les uns ont essayé d'assurer un chauffage régulier en tous les points du faisceau tubulaire en disposant une série de chicanes placées entre l'arrivée de la vapeur et le départ des eaux condensées ; les autres ont établi les conduites de manière que la vapeur arrive par toute la circonférence de chaque chambre.

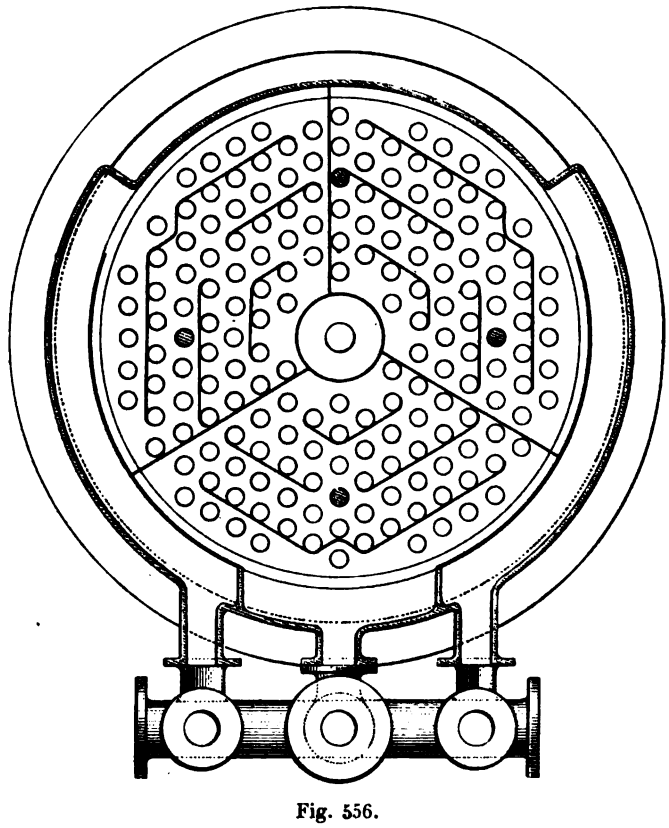


Fig. 556.

La disposition que nous avons figurée participe à la fois des deux procédés. Chaque chambre de vapeur a été partagée par trois cloisons verticales en trois capacités d'égal volume, absolument indépendantes, ayant chacune son entrée de vapeur et son retour d'eau, ce dernier étant pourvu d'un clapet battant ; la circula-

tion est assurée par des chicanes disposées comme l'indique la figure 556.

Chacun des tuyaux qui amènent la vapeur dans les trois capacités est muni d'un robinet spécial permettant de régler le débit dans chaque compartiment ; sans cette précaution, la capacité la plus rapprochée de l'arrivée recevrait la majeure partie de la vapeur au détriment des deux autres. Ces trois robinets sont groupés à côté les uns des autres pour la facilité de la manœuvre.

Les trois chambres de vapeur sont munies chacune d'un tube branché à leur partie supérieure et pourvu d'un robinet permettant d'envoyer directement à la pompe à air les gaz non condensables qui viennent s'accumuler vers le haut de la chambre de vapeur entourant le faisceau tubulaire et nuisent à la transmission de la chaleur.

Le gaz que l'on extrait de la première chaudière n'est autre que l'air entraîné par la vapeur; dans les autres caisses, ce sont principalement des vapeurs ammoniacales qui se dégagent du sirop. Il est très important de se débarrasser de ces gaz : d'une part, l'air mélangé à la vapeur gêne la condensation de celle-ci; d'autre part, l'ammoniaque étant plus légère que la vapeur d'eau vient se cantonner à la partie haute des chambres de chauffage, où elle fait obstacle à l'arrivée de la vapeur. Elle empêche la condensation et diminue, de toute la hauteur qu'elle occupe, la longueur utile du faisceau tubulaire. En outre, les vapeurs ammoniacales attaquent le cuivre et, si on n'avait pas le soin de les évacuer, elles pourraient amener la destruction des faisceaux tubulaires.

Dans les chambres de vapeur qui entourent les tubes de la première chaudière, la pression étant supérieure à celle de l'atmosphère, les tuyaux d'écoulement d'eau condensée peuvent déboucher directement à l'air libre ; mais, pour les autres chambres où il existe une dépression, on est obligé de réunir les tuyaux d'écoulement sur une conduite en communication avec la pompe à air ou avec une pompe spéciale comme nous l'avons dit antérieurement.

Il nous reste à parler d'une autre disposition qui a permis d'établir des appareils d'évaporation de très grandes dimensions.

Nous avons vu que la vapeur circule autour des tubes du faisceau tubulaire et que ceux-ci sont remplis de sirop; il en résulte que les incrustations se déposent à l'intérieur de ces tubes; cette disposition facilite le nettoyage, mais gêne la circulation du liquide sucré. Les tubes ayant un faible diamètre ($0^m,05$), afin de permettre de grouper une grande surface de chauffe sous un petit volume, ne peuvent avoir qu'une longueur assez restreinte; sinon, lorsque le liquide sucré est en ébullition, les bulles de vapeur réunies dans un même tube peuvent acquérir assez de volume et de tension pour chasser le sirop qui remplissait la partie haute de ce tube. Il existe un antagonisme permanent entre le courant ascendant de vapeur qui sort d'un tube et le courant descendant de liquide qui vient l'alimenter.

Le retour du liquide dans le faisceau tubulaire s'effectuant difficilement et incomplètement, il en résulte qu'une notable partie de la surface de chauffe est mal utilisée.

Pour faire disparaître cet inconvénient, on a disposé au centre de chaque chaudière un tube de très gros diamètre par lequel le liquide soulevé redescend constamment pour venir remplacer celui qui s'élève dans les tubes de faible diamètre; cette modification a permis de porter à $1^m,70$ la longueur des tubes, qui jusque là n'avait guère pu dépasser $1^m,00$. Nous avons déjà rencontré l'application d'une disposition analogue dans les chaudières à distiller l'eau de mer.

Chacune des chaudières de l'appareil d'évaporation est pourvue d'une série d'accessoires dont les principaux sont: un indicateur du vide et de la température; un bouchon placé à la partie inférieure pour le nettoyage des tubes; un trou d'homme; une ouverture rectangulaire pourvue de glaces permettant de suivre la marche de l'opération; en face de cette ouverture, une lunette ronde également garnie d'une glace servant à éclairer l'intérieur, qui laisse passer un rayon lumineux des appareils; un robinet de vidange placé à la partie inférieure pour l'évacuation des sirops par le tuyau Y, quand l'opération est terminée; un robinet, dit *à beurre*, qui sert à l'introduction de graisse fondue pour abattre les mousses, et enfin un appareil *de prise*

d'épreuve, qui sert à constater le degré d'avancement de l'opération.

Des tuyauteries spéciales permettent de faire arriver de la vapeur, de l'eau ou des liquides pour le nettoyage intérieur des tubes. (Voir la figure 555 et la légende qui l'accompagne.)

La dernière chaudière, qui renferme le jus le plus épais, est plus sujette aux incrustations que les deux premières et il peut être nécessaire de la nettoyer plusieurs fois au cours d'une campagne de fabrication. Afin de permettre le nettoyage sans entraver la marche de l'usine, l'appareil à triple effet est disposé pour fonctionner au besoin à double effet, en faisant communiquer la conduite X avec l'une des chaudières B ou C à volonté. Lorsqu'on veut isoler la troisième caisse, il suffit de fermer le robinet G et d'ouvrir le robinet F; les vapeurs qui se dégagent de la seconde caisse passent alors directement au condenseur.

Dans ce cas, les sirops sortent moins concentrés et le complément de l'évaporation se fait dans la chaudière à cuire. C'est un procédé peu recommandable, parce qu'il donne lieu à un accroissement de dépense de combustible pour amener les sirops au degré de concentration habituel (18°,B.); il ne faut donc l'employer que pendant le temps strictement nécessaire pour le nettoyage de la troisième chaudière du triple effet.

On remarquera que le diamètre des trois chaudières va en augmentant à mesure que la pression intérieure diminue, c'est là un usage généralement adopté, bien que cependant il ne paraisse pas justifié en principe.

Cependant, il a été constaté en pratique que, pour un écart constant de température, la même surface de chauffe ne donne pas une égale vaporisation dans les trois caisses du triple effet. On vaporise plus dans la première que dans la troisième. Cet effet provient sans doute en grande partie de ce que le jus devenant de plus en plus épais à mesure de sa concentration, la vapeur se dégage moins facilement et le liquide lui-même éprouve plus de difficulté à circuler au contact des surfaces de chauffe. De plus, les incrustations se déposant en plus grande quantité dans les deux dernières caisses où le jus est le plus con-

centré, tendent aussi à réduire l'efficacité des surfaces chauffantes.

Les trois chaudières sont recouvertes de revêtements en bois pour diminuer les pertes par le refroidissement extérieur.

Les deux plaques tubulaires sont entretoisées en quatre points afin d'empêcher la déformation. L'étanchéité des joints des tubes et des plaques tubulaires est obtenue au moyen de rondelles en papier fort, interposées entre les surfaces métalliques adjacentes. Les grands joints des plaques tubulaires avec les calandres sont faits au moyen d'anneaux en caoutchouc enclavés dans des rainures concentriques et traversés par quelques boulons seulement; cette disposition a été prise dans le but de permettre la libre dilatation des plaques tubulaires au moment du chauffage.

L'appareil à triple effet, tel que nous venons de le décrire, peut prendre des proportions colossales; l'application la plus importante en a été faite à la sucrerie d'Escaudœuvres, près de Cambrai, où un seul appareil traite 20 000 hectolitres de jus par jour.

Les diamètres des trois chaudières sont respectivement $4^m,50$, $5^m,10$ et $5^m,60$.

Les tubes dont la longueur est de $1^m,75$ entre plaques sont au nombre de 3819 dans la première chaudière, 5017 dans la deuxième et 6180 dans la troisième.

D'une manière générale, on compte que pour traiter 1000 hectolitres de jus par 24 heures il faut une surface de chauffe de 150^{mq} se répartissant ainsi : 38^{mq} pour la première chaudière, 50^{mq} pour la deuxième et 62^{mq} pour la troisième.

Les jus à évaporer contiennent environ 12 kilogr. de sucre et de matières salines pour 88 d'eau, et leur densité est de 1,05; les 1000 hectolitres de jus renferment donc 92400 kilogr. d'eau et 12600 kilogr. de sucre et de sels. On obtient par la concentration un sirop qui renferme 33 kilogr. de sucre et de matières salines pour 67 kilogr. d'eau. En admettant qu'il ne se soit formé aucun dépôt, le sucre et les sels des jus sont alors dissous dans une quantité d'eau donnée par le rapport

$$12600 \times \frac{67}{33} = 25885$$

il a donc fallu enlever

$$92400 - 25885 = 66515 \text{ kilogr. d'eau.}$$

Ceci montre que 1^{mq} de surface de chauffe de l'appareil à triple effet, permet de vaporiser environ 443 kilogr. d'eau en 24 heures, soit $18^{k},4$, à l'heure.

977. Appareil à triple effet horizontal. — Les appareils verticaux sont encombrants parce que, en raison de ce que leur faisceau tubulaire a une hauteur limitée, on est forcé de leur donner de grands diamètres, lorsqu'on a besoin de surfaces chauffantes considérables.

Dans certains cas, pour éviter cet encombrement, les caisses du triple effet ont été disposées horizontalement, ce qui permet de donner aux tubes une longueur presque égale à celle des caisses. Dans ces appareils la vapeur circule à l'intérieur des tubes qui sont plongés dans le jus sucré. Le faisceau tubulaire occupe dans chacune des caisses la partie située au-dessous du diamètre moyen et se répartit en trois groupes dont l'ensemble forme un serpentin à trois branches que la vapeur parcourt successivement. La tuyauterie est disposée de manière que l'appareil puisse fonctionner à double et même à simple effet.

Voici les dimensions principales d'un appareil à triple effet d'importance moyenne.

Première caisse. — Diamètre, $1^{m},450$; capacité totale (liquide et vapeur), $6^{m^3},410$; renfermant 206 tubes qui représentent une surface de chauffe de 82^{m^2}.

Deuxième caisse. — Diamètre, $1^{m},700$; capacité $8^{m^3},725$; renfermant 329 tubes qui représentent une surface de chauffe de 132^{m^2}.

Troisième caisse. — Diamètre, $1^{m},900$; capacité, $11^{m^3},075$; nombre de tubes, 364; surface de chauffe, 146^{m^2}.

La distance entre les plaques tubulaires de chacune des caisses est de 4 mètres et le diamètre des tubes est de 32 millimètres extérieurement.

L'expérience a prouvé qu'on vaporise dans cet appareil $16^{k},8$ d'eau par heure et par mètre carré de surface de chauffe. On peut

donc, avec un appareil évaporatoire ayant les dimensions ci-dessus indiquées, opérer la concentration journalière d'environ 2200 hectolitres de jus amenés de 5 à 18° Beaumé.

Dans ce triple effet horizontal, les incrustations se déposent à l'extérieur des tubes et l'enlèvement de ces dépôts présente les mêmes difficultés que dans les chaudières tubulaires ; ce qui a conduit à établir des appareils à tubes amovibles.

978. Condenseur réchauffeur. — On a rendu encore plus complète l'utilisation de la chaleur dans les appareils à triple effet, en mettant à leur suite un *condenseur réchauffeur de jus* que nous avons représenté dans la figure d'ensemble 555 et qui utilise une partie de la chaleur renfermée dans les vapeurs qui s'échappent de la troisième chaudière.

Ce condenseur sert à chauffer les jus provenant des diffuseurs et qui se rendent à la première carbonatation. Il se compose d'un cylindre vertical renfermant un faisceau de tubes que le liquide à chauffer parcourt de bas en haut.

A sa partie supérieure, ce cylindre comporte un renflement formant vase de sûreté, dans lequel arrive la vapeur sortant de la troisième caisse de l'appareil d'évaporation et où, par un brusque changement de direction, elle se débarrasse du liquide qu'elle a pu entraîner.

Cette vapeur descend autour des tubes dans lesquels s'élève le jus qu'on veut chauffer, se rend à la base du réchauffeur et passe enfin au condenseur.

Le jus pénètre dans le condenseur réchauffeur à une température de 10° en moyenne et en sort à environ 40°.

Un tuyau spécial permet d'isoler le réchauffeur et de faire passer le jus directement dans les bacs à carbonater, lorsqu'il y a lieu d'effectuer le nettoyage des tubes. On est obligé de procéder fréquemment à cette opération, car le lait de chaux ajouté dans les jus, avant la défécation, abandonne dans les parties chauffées des dépôts incrustants qui diminuent la transmission de la chaleur, réduisent la section de passage des tubes et peuvent même obstruer complètement ces derniers.

979. Appareil d'évaporation de M. Piccard. — Dans

la fabrication du sel par évaporation, on compte qu'un kilogr. de houille permet d'extraire au maximum 3 kilogr. de sel. Lorsqu'on opère dans de telles conditions on est entraîné à une dépense énorme de combustible pour obtenir un produit de première nécessité qui doit être vendu à bas prix. Il y a donc grand avantage à opérer dans des chaudières disposées pour fonctionner comme le triple effet employé dans les sucreries. En utilisant la chaleur latente de la vapeur d'eau à chauffer d'autres chaudières, on peut arriver à réaliser une économie considérable sur la dépense du combustible et diminuer beaucoup le prix de revient de l'opération.

Comme dans tout appareil à effets multiples, la première chaudière est chauffée directement soit à feu nu, soit par de la vapeur provenant de l'échappement des machines ou empruntée aux générateurs de l'usine. Chaque chaudière suivante est chauffée par la vapeur se dégageant de la chaudière qui la précède et la dernière chaudière envoie sa vapeur au condenseur.

La température va en décroissant d'un appareil au suivant, il existe ainsi dans chaque chaudière un écart de température entre le fluide chauffant et le liquide chauffé, ce qui permet la transmission de la chaleur.

Pour utiliser la chaleur de l'eau condensée, on fait passer celle-ci, en descendant, dans un serpentin immergé dans la dissolution salée froide. Cette dernière monte en s'échauffant et la partie la plus chaude sert à l'alimentation des chaudières à évaporer. La circulation est méthodique et l'utilisation de la chaleur est aussi complète que possible.

Comme on peut, sans inconvénient, concentrer à une température quelconque une dissolution salée, on ne fait pas comme dans le triple effet passer le liquide d'une chaudière dans la suivante; on se contente de produire un va-et-vient de la chaudière à son récipient et on conserve à chaque caisse d'évaporation son alimentation particulière.

Au point de vue de la vente, il est important que le sel se présente en cristaux de grosseur et de formes déterminées. Pour arriver à ce résultat, il faut que pendant leur développe-

ment les cristaux restent en suspension dans la dissolution salée où ils ont pris naissance; de plus, il est important d'éviter qu'ils ne s'agrègent en masses confuses et ne s'attachent aux parois des chaudières en formant des croûtes qu'il faudrait désagréger; enfin il convient d'effectuer séparément le chauffage de la dissolution et son évaporation.

M. Piccard s'est inspiré de toutes ces considérations pour construire un appareil qui peut être appliqué toutes les fois qu'il s'agit de séparer par voie de cristallisation un résidu solide d'un liquide, mais qui a été étudié spécialement pour permettre l'extraction continue du sel marin que renferment les dissolutions salées.

L'appareil représenté (fig. 557) se compose : d'une chaudière tubulaire verticale A chauffée à l'aide de la vapeur ou à feu nu; d'un récipient cylindrique horizontal B dans lequel la pression est moins élevée que dans A, et où s'effectuent l'évaporation de l'eau ainsi que la cristallisation du sel; enfin d'un organe spécial R disposé pour forcer le liquide en traitement à circuler constamment de la chaudière A au récipient B et *vice-versa*.

Le chauffage s'effectue dans la chaudière tubulaire A dont la disposition a été plusieurs fois décrite (caisses de triple effet, bouilleurs pour la distillation de l'eau de mer). Un tube extérieur de gros diamètre établit une communication entre le dessus et le dessous du faisceau tubulaire et facilite le retour du liquide destiné à remplacer celui qui s'échauffe et s'élève dans les tubes autour desquels circule la vapeur. Le liquide chauffé à température convenable se rend par le conduit Z au récipient B, où s'effectue l'évaporation et dans lequel on maintient une pression inférieure à celle qui existe dans la chaudière A. Le liquide entre dans B par l'orifice O pourvu d'un ajutage conique à aiguille qui permet de régler la section de passage et, par suite, de faire varier la température et la pression dans la chaudière A. A son arrivée dans le récipient B, le liquide entre immédiatement en ébullition, une partie se vaporise dans le jet qui s'échappe de l'orifice O, le reste tombe à la température correspondant à la pression dans le cylindre B. Il résulte de là

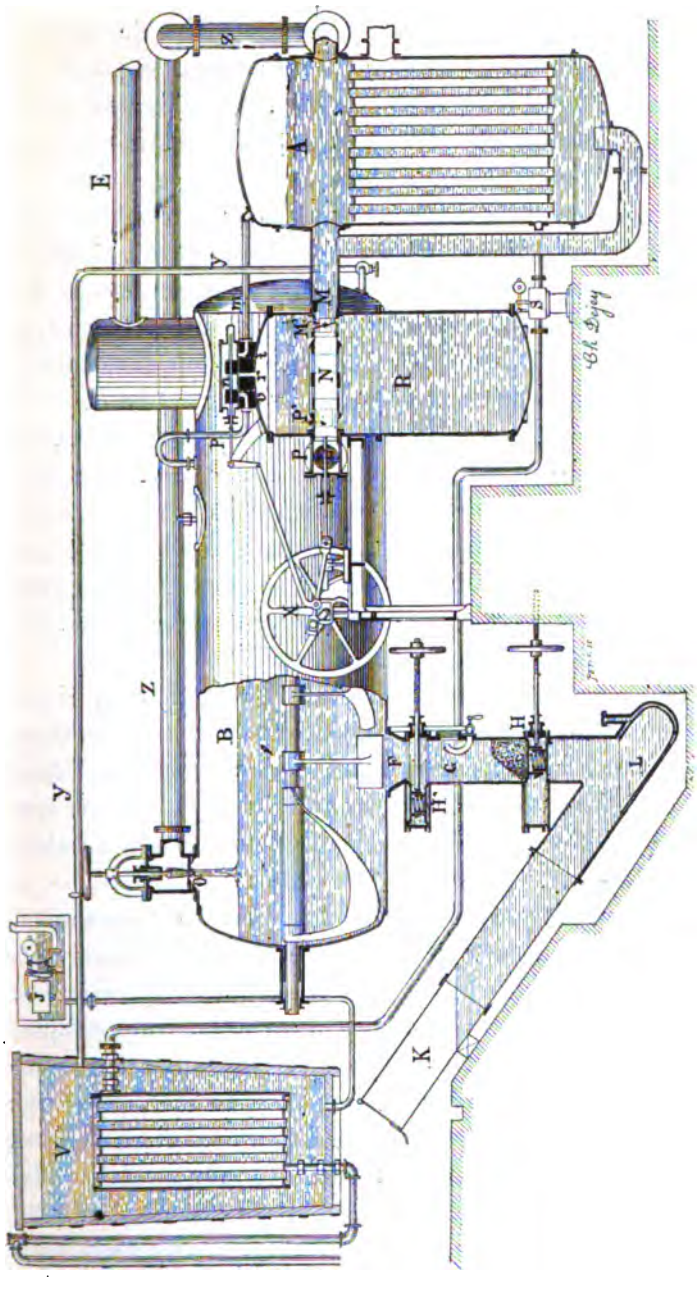


Fig. 557.

que, si le liquide a atteint son point de saturation, ce qui se produit forcément au bout d'un certain temps de marche, un poids de sel dépendant de la quantité de vapeur qui se dégage du jet se précipite à l'état de cristaux dans le liquide concentré et chaud. Les cristaux se développent dans la dissolution, tout en descendant au fond de la chaudière.

Une hélice disposée sur un arbre horizontal ramène constamment les cristaux de sel vers l'entrée F du tuyau d'extraction. Ce dernier est muni de deux tiroirs H, H', qui permettent de faire communiquer l'espace G, compris entre eux, alternativement avec le récipient B et avec l'extérieur. Le tiroir H est ordinairement fermé et les cristaux de sel déplacés par l'hélice viennent s'accumuler au-dessus de lui et finissent par remplir la chambre G.

Pour retirer une certaine quantité de sel, on ferme H' et on ouvre H ; les matières solides tombent dans la poche L où elles se tassent. Elles sont ensuite remontées jusqu'à l'extrémité supérieure du tuyau incliné K et on laisse l'égouttage se produire pendant un certain temps, ordinairement jusqu'à ce que l'on opère une nouvelle extraction.

L'eau provenant de la condensation de la vapeur de chauffage s'écoule par un purgeur automatique S et sert au chauffage méthodique de la dissolution saline destinée à alimenter l'appareil.

Quant à la vapeur formée dans le récipient B, elle est évacuée par le tuyau E et se rend à l'appareil suivant de la batterie à effets multiples.

Nous avons dit que la dissolution salée allait constamment de la chaudière A au récipient B et revenait de celui-ci dans la première. Les deux cylindres A et B étant à des pressions différentes, le va-et-vient est produit par un organe mécanique spécial, formé d'un vase cylindrique vertical R qui communique d'une part avec la chaudière A par le tuyau M et, d'autre part, avec le récipient B par le tuyau P. Le tout est disposé pour que le vase R ne puisse jamais se trouver en communication à la fois avec A et avec B. Les tubulures M et P sont munies, vers l'intérieur du vase R, de prolongements cylindriques dans lesquels circule un piston plongeur et qui sont percés de fenêtres M' et P'

alternativement découvertes par le jeu du piston N que commande une roue X. Une autre ouverture, représentée en *r* et percée à la partie supérieure du récipient, établit en temps opportun la communication de ce dernier avec l'une ou l'autre des chambres de vapeur des deux corps cylindriques A et B. Ce résultat est obtenu par l'intermédiaire des conduits *m* et *p* dont les orifices *t* et *v* sont ouverts et fermés chacun par le jeu d'un tiroir double *n* commandé par la roue X qui, comme nous l'avons déjà dit, entraîne le piston N. Le calage des manivelles actionnant le piston N et le tiroir *n* est tel que la communication s'établit à la fois avec le haut et le bas du récipient cylindrique B par les orifices *v* et P', tandis que les orifices *t* et M' de la chaudière A sont fermés et inversement.

Dans le premier cas, du liquide sortant de B entre dans le réservoir R, et dans le second, du liquide sort de R pour entrer dans la chaudière A. Cette manœuvre convenablement répétée permet d'établir un courant presque continu entre le réservoir B et la chaudière A établie à un niveau inférieur, mais fonctionnant à une pression plus élevée, et de parvenir à maintenir constante la hauteur du liquide dans B.

La dissolution concentrée rentrant dans la chaudière A se réchauffe au contact du faisceau tubulaire et retourne ensuite dans le cylindre B où la pression est moindre que dans A.

L'alimentation de l'appareil s'effectue de la manière suivante :

La dissolution saline qui sert à remplacer l'eau vaporisée est chauffée dans le vase V par l'eau condensée provenant du chauffage de la chaudière A. Cette dissolution passe dans le tuyau *y*, se rend à l'extrémité du récipient B et entre dans ce dernier par l'effet même de la pesanteur.

Le vase V est lui-même alimenté par une caisse à flotteur J, de manière que la pression soit sensiblement constante.

Un petit moteur spécial met en mouvement tous les organes mobiles des appareils de circulation, et c'est la vapeur d'échappement de ce moteur qui sert au chauffage de la première caisse.

L'appareil que nous venons de décrire peut être fort simplifié quand les conditions de la cristallisation ne sont pas les mêmes

que pour le sel de cuisine; une seule chaudière suffit alors pour le chauffage et l'évaporation.

980. Utilisation d'un travail mécanique. — M. Piccard a proposé un autre moyen d'utiliser économiquement la chaleur renfermée dans la vapeur qui se dégage de son appareil simple; ce moyen est applicable dans le cas où l'on dispose d'une force motrice à bon marché, telle qu'une chute d'eau.

On comprime, au moyen d'une pompe, la vapeur qui se dégage du liquide en traitement; cette compression a pour effet d'élever la température du fluide gazeux d'une quantité suffisante pour qu'il puisse être condensé entièrement au contact des parois plus froides de la chaudière même qui l'a produit. La vapeur en se condensant restitue à la chaudière A la chaleur latente qu'elle a absorbée en se formant.

En pratique, le travail s'opère de la manière suivante :

La vapeur formée dans le récipient B est aspirée puis refoulée dans la chambre de chauffe de la chaudière A par un compresseur mis en mouvement au moyen d'une turbine ou d'une roue hydraulique.

L'auteur de ce procédé compte que pour produire 1000 tonnes de sel par année de 300 jours, il faut une force de 30 chevaux (théoriquement 16,9), et que, pour une différence de température de 12° entre la vapeur comprimée et l'eau salée, chaque mètre carré de surface de chauffe correspond à une production de $3^k,5$ de sel par heure.

Voici, d'après M. Piccard, les températures et les pressions auxquelles il convient d'opérer pour que l'appareil fonctionne dans de bonnes conditions :

Le récipient B est à la pression atmosphérique, ce qui correspond à une température d'ébullition de 108° environ pour la dissolution saline; la vapeur qui se dégage de celle-ci est à 100° et on la comprime jusqu'à ce qu'elle atteigne une température de 120°, ce qui correspond à peu près à une pression de 1 kilogr.

Il va sans dire que pour la mise en train de l'appareil on est forcé d'avoir recours à une injection de vapeur directe venant d'un générateur de l'usine.

CHAPITRE IV

SÉCHAGE

981. Préliminaires. — Le séchage ou dessiccation a pour but d'enlever aux corps solides l'eau de mouillage ou l'eau hygrométrique qu'ils retiennent et dont ils peuvent être privés sans subir d'altération.

Très souvent, pour sécher les corps, on se contente de les exposer à l'air libre et l'eau qu'ils doivent abandonner se transforme plus ou moins rapidement en vapeurs qui se dissolvent dans l'atmosphère à mesure de leur formation.

On peut aussi produire le séchage en se servant de la chaleur artificielle avec ou sans l'aide de l'air.

Afin de réduire la durée du séchage et, dans certains cas, le prix de revient de l'opération, on peut effectuer la séparation, à l'état liquide, d'une partie de l'eau dont le corps doit être débarrassé. Pour cela on se sert des procédés mécaniques; ceux-ci permettent d'extraire très rapidement une partie de l'eau qui imprégne les matières à sécher, mais ils ne suffisent pas pour produire le séchage complet.

§ Ier

SÉCHAGE PAR PROCÉDÉS MÉCANIQUES.

982. Les moyens mécaniques employés pour le séchage sont de plusieurs espèces.

Le plus primitif est le tordage à la main principalement em-

ployé pour les tissus. C'est un procédé long, fatigant et qui n'enlève qu'une faible quantité d'eau.

Un deuxième procédé consiste à se servir soit de presses à vis ou hydrauliques, soit de presses continues. Ces différents appareils sont surtout employés pour sécher en partie et comprimer les résidus végétaux, provenant de la fabrication du sucre, de l'alcool ou de la bière, etc. Ces résidus pressés sont, sous le nom de pulpes et de drèches, utilisés pour la nourriture du bétail.

Le troisième procédé de séchage mécanique consiste à placer le corps à sécher dans un appareil qui porte le nom d'essoreuse. Il se compose d'un tambour cylindrique à fond plein et dont le bord supérieur recourbé vers l'intérieur peut être muni d'un couvercle mobile. La paroi latérale est formée d'une tôle perforée d'un grand nombre de petits orifices et recouverte d'une toile métallique. Ce tambour est monté sur un axe vertical auquel on imprime un mouvement de rotation très rapide. Les objets à sécher, se trouvant soumis à l'action de la force centrifuge, viennent s'appliquer fortement contre la paroi du cylindre en mouvement, pendant qu'une partie du liquide qui les mouillait s'échappe à l'extérieur.

Le tambour est enfermé dans une caisse ou enveloppe en fonte destinée à recueillir le liquide projeté pendant le fonctionnement de l'essoreuse.

L'arbre vertical reçoit généralement son mouvement à la partie supérieure au moyen de pignons d'angle ou mieux par simple friction. Un plateau conique monté sur un arbre horizontal poussé par un ressort vient à volonté presser contre le cône d'extrémité de l'arbre de l'essoreuse et sert à transmettre le mouvement à l'appareil.

L'essoreuse est quelquefois mue à bras d'homme par l'intermédiaire d'engrenages multiplicateurs de vitesse. On préfère généralement l'actionner mécaniquement en demandant le travail nécessaire à l'arbre de couche de l'atelier.

Dans les applications nouvelles, on dispose le plus souvent tout le mécanisme de commande de l'essoreuse en contre-bas du sol, afin de dégager complètement les abords de l'appareil

et de mettre autant que possible le personnel de service à l'abri des accidents.

Parfois même, lorsque l'essoreuse est isolée des autres machines de l'usine, on la pourvoit d'un petit moteur spécial qui fait corps avec le bâti de l'appareil.

La durée d'une opération ne dépasse guère trois à quatre minutes et la vitesse de rotation est d'environ 1000 tours par minute.

Quelle que soit la vitesse imprimée à l'essoreuse, on ne peut arriver à sécher complètement les tissus mouillés. Cependant, l'essorage est une opération économique permettant d'extraire en quelques instants un certain poids d'eau qui n'a pas besoin d'être vaporisé. La dépense de chaleur correspond seulement au travail absorbé par le moteur.

Voici, d'après Rouget de Lisle, la quantité d'eau restant dans différents tissus après le séchage mécanique par chacun des trois procédés dont il vient d'être question.

Dans 100 kilogrammes de

	Flanelle.	Calicot.	Soie.	Toile de lin.
il reste les poids d'eau suivants :				
après tordage,	200^{k}	120^{k}	95^{k}	75^{k}
— pressage,	100	60	50	40
— essorage,	60	35	30	25

Ces exemples montrent bien que les moyens mécaniques sont impuissants à donner un séchage complet.

Pour terminer l'opération, il faut avoir recours au séchage proprement dit pour lequel on dispose de quatre procédés différents, savoir :

Séchage à l'air libre;

Séchage par courant d'air à la température ambiante;

Séchage par courant d'air chauffé ;

Séchage par chauffage direct.

Nous allons examiner successivement ces différents systèmes.

§ II

SÉCHAGE A L'AIR LIBRE.

983. Ce procédé de séchage est très employé; pour le linge, c'est évidemment le moyen le plus répandu et le plus économique, quand on dispose de l'emplacement nécessaire. On se contente simplement d'étendre le linge sur des cordes ou des fils de fer galvanisé. Pour que l'air se renouvelle facilement au contact des objets, il faut laisser entre les lignes d'étendage un intervalle de 0,40 à 0,50. L'opération est forcément très irréguliére, elle dépend de la température, de l'état hygrométrique de l'air et de l'agitation de l'atmosphère. Quand il fait du vent et du soleil, le séchage s'opère assez rapidement, mais, en hiver, il ne s'effectue que très lentement et si le temps est très humide l'opération est presque interminable.

Lorsqu'on opère sur des corps pulvérulents, on les étend en couches minces sur des claies ou des toiles métalliques. On déplace les matières de temps en temps, afin de renouveler les surfaces exposées à l'air et activer le séchage de la masse.

S'il s'agit de corps réguliers comme les briques, les morceaux de tourbe, le bois débité, etc., on les dispose en rangées superposées entre lesquelles l'air peut circuler avec facilité.

Quand les corps à sécher sont en fragments de forme irrégulière, on les étend sur le sol ou sur des étagères, en couches assez minces, afin de permettre à l'air de circuler dans les vides qui existent entre les diverses parties.

Lorsque les produits à sécher sont en assez grande quantité, il peut devenir impossible de les enlever pour les mettre à l'abri, en cas de pluie; on est alors amené à couvrir l'espace sur lequel sont exposés les corps à sécher. Cet espace couvert reçoit le nom de séchoir.

Quand on veut sécher certaines matières, comme la colle, etc., qui craignent l'humidité, on peut clore le séchoir, sur toutes ses faces, par des sortes de grandes jalousies que l'on ferme lors-

que l'atmosphère extérieure est fortement chargée d'humidité. La dépense d'installation de ces bâtiments est généralement assez élevée et le séchage reste cependant irrégulier, puisqu'il dépend toujours de l'état hygrométrique de l'atmosphère.

§ III

SÉCHAGE PAR COURANT D'AIR A LA TEMPÉRATURE AMBIANTE.

984. Le renouvellement de l'air au contact des matières à sécher étant un élément important de la marche rapide de la dessiccation, on s'est appliqué à établir une ventilation active dans les séchoirs; pour cela, on laisse arriver l'air en grande quantité par une extrémité de la chambre de séchage et on l'aspire par l'extrémité opposée. Le mouvement de l'air peut être produit à l'aide d'une cheminée ou d'un ventilateur.

Dans le premier cas, il faut que l'air sortant conserve une température suffisante pour déterminer le tirage, mais le rendement calorifique de ce procédé est moins avantageux que celui obtenu par la ventilation mécanique, ce dont il est facile de se rendre compte par le calcul.

Quand on a recours aux moyens mécaniques, il faut donner de grandes sections aux gaines et aux orifices d'entrée et de sortie d'air, afin de réduire le plus possible la dépense de travail nécessaire au fonctionnement des ventilateurs. Pour mettre l'air en mouvement, il convient de se servir de préférence d'appareils analogues aux ventilateurs hélicoïdaux, qui permettent de mouvoir de grandes masses d'air sous de faibles dépressions.

Il faut remarquer que, par suite de l'évaporation qui se produit dans le séchoir, la température tend à s'abaisser rapidement, mais comme il y a avantage à maintenir cette dernière aussi élevée que possible, il convient de faire les parois extérieures minces et en matériaux bons conducteurs de la chaleur pour que l'équilibre de température s'établisse facilement entre

l'extérieur et l'intérieur; on devra évidemment rechercher les conditions absolument inverses lorsqu'il s'agira d'établir des séchoirs à air chaud.

Ce procédé présente les mêmes inconvénients que le séchage à l'air libre; de plus, il exige des frais d'installation ainsi que de fonctionnement et le séchage reste toujours irrégulier.

Pour activer la dessiccation, on pourrait, avant son entrée dans le séchoir, priver l'air de l'humidité qu'il renferme et, dans ce but, le faire passer au contact de substances avides d'eau, telles que la chaux vive, le chlorure de calcium, etc. Mais, si l'on n'a pas l'emploi de ces substances après leur hydratation, on est conduit, par raison d'économie, à revivifier ces matières, afin de pouvoir les réutiliser. Cette revification oblige à recourir à l'emploi de la chaleur et en général, il sera préférable de chauffer directement les corps, sans passer par un intermédiaire, à moins que ceux-ci ne puissent, comme la colle, etc., supporter le contact de l'air, à température un peu élevée sans subir d'altération.

Pour réduire les frais que le séchage occasionne quand on l'effectue à l'aide d'un courant d'air forcé, on doit prendre certaines précautions pour que l'air s'échappant du séchoir reste toujours saturé jusqu'à la fin de l'opération. La saturation incomplète de l'air évacué entraîne une dépense supplémentaire de travail et, par suite, une augmentation du prix de revient de la dessiccation. Pour éviter cet inconvénient, on divise le séchoir en deux parties que l'air parcourt successivement et on dispose les orifices d'entrée et de sortie de façon à pouvoir renverser le mouvement. On a soin de faire arriver l'air neuf dans la chambre où l'opération est sur le point d'être terminée et de lui faire parcourir avant de le laisser s'échapper dans l'atmosphère, le compartiment qui vient de recevoir les matières mouillées. Quand on a, dans la première chambre, remplacé les matières sèches par des matières humides, on renverse le sens du mouvement gazeux, l'air neuf entre dans la seconde chambre au contact de matières presque sèches, puis passe ensuite dans la première.

On verra, dans le paragraphe relatif aux séchoirs à air chaud, le moyen d'obtenir facilement ces deux circulations en sens différent.

§ IV

SÉCHAGE PAR COURANT D'AIR CHAUFFÉ.

Les procédés de séchage que nous venons de décrire sont généralement longs et irréguliers, et ne sauraient convenir dans la plupart des industries, aussi le séchage s'opère-t-il le plus souvent en faisant intervenir l'air chaud en mouvement dans des locaux spéciaux désignés sous le nom de séchoirs.

Ces séchoirs sont disposés les uns pour servir d'une manière intermittente et les autres pour permettre des opérations continues.

985. Les phénomènes qui se produisent dans un séchoir à air chaud à chargement intermittent sont eux-mêmes discontinus.

On peut considérer l'opération du séchage comme étant elle-même divisée en trois périodes différentes :

1° On vient d'introduire le corps mouillé et à la température de l'air extérieur θ.

L'air chaud entre à la température T, il se refroidit rapidement au contact des matières qui se trouvent sur son parcours, et finalement arrive aux orifices de sortie par lesquels il s'échappe à l'état de saturation et à la température de l'air extérieur.

Les matières à sécher s'échauffent progressivement et leur température dépend de la position qu'elles occupent dans le séchoir. Les surfaces voisines des bouches d'arrivée d'air chaud sont à une certaine température t' et celles qui se trouvent près des orifices d'évacuation sont à la température θ. On utilise toute la chaleur apportée par l'air affluent et cette période dure jusqu'au moment où les dernières surfaces mouillées commencent à s'échauffer à leur tour.

2° A partir de l'instant où cet échauffement a lieu, l'air s'é-

chappe à des températures croissant jusqu'à une certaine limite, laquelle dépend de la température de l'air entrant dans le séchoir. Dans cette période, l'air sort toujours saturé, mais on n'utilise pas toute la chaleur qu'il peut céder.

3° Dans la troisième période, la température augmente dans le séchoir, l'air sort de moins en moins saturé jusqu'au moment où la dessiccation est obtenue. Il y a une perte de chaleur généralement assez importante provenant de ce que l'air qui s'échappe conserve une température élevée et sort du séchoir sans être saturé.

Après que le séchage est produit, si l'on continue à faire arriver l'air chaud, la température continuera à s'élever dans le séchoir, et finalement les objets prendront la température de l'air chaud affluent. En pratique, il est rare qu'on ait besoin de continuer le chauffage après que la dessiccation complète est obtenue. Quel que soit le but poursuivi, on peut réduire notablement les pertes de chaleur que nous venons de signaler en disposant le séchoir de manière à effectuer méthodiquement la dessiccation.

D'ordinaire, un séchoir à air chaud se compose d'une chambre close dans laquelle sont étendues les matières à sécher et d'un calorifère, fournissant à l'air destiné au sèchage, une certaine quantité de chaleur que celui-ci transmet à l'eau qui mouille les corps et qu'on veut vaporiser.

La chambre de séchage est pourvue de deux séries d'ouvertures, l'une servant à l'entrée de l'air chaud, et l'autre à la sortie de l'air humide qui est évacué dans l'atmosphère. Les orifices d'introduction d'air chaud sont généralement placés près du plafond de la chambre, mais ils sont quelquefois disposés près du plancher. Les orifices d'évacuation sont ordinairement réservés à la partie basse, quelle que soit la position des arrivées d'air chaud.

Dans certains cas, on effectue cependant l'évacuation de l'air humide à la partie haute du séchoir, l'air chaud arrivant à la partie basse et sur toute la surface de la chambre. Les matières à sécher sont disposées de telle façon que l'air ne puisse gagner

le plafond sans passer à leur contact. Mais il arrive ordinairement que le séchage par circulation ascendante d'air chaud est obtenu dans des conditions moins avantageuses que la dessiccation par circulation descendante.

Afin de diminuer autant que possible les pertes de chaleur, il convient de ne laisser sortir du séchoir que de l'air complètement saturé, du moins pendant la durée des deux premières périodes de séchage. Pour obtenir ce résultat, les dimensions du séchoir ont moins d'influence que la division et le rangement convenables des produits à sécher et que le mode de circulation de l'air chaud.

Il faut éviter que l'air saturé ne séjourne et ne se refroidisse dans certaines parties du séchoir, il empêcherait la dessiccation des corps voisins et l'humidité qu'il abandonnerait pourrait, dans certains cas, altérer les produits à sécher ou tout au moins nuire à leur qualité.

On fait passer l'air encore chaud et non saturé sur des matières récemment chargées et très humides afin d'utiliser son excès de chaleur et de compléter sa saturation. Nous verrons plus loin des dispositions de séchoir méthodique.

986. Calcul d'un séchoir à air chaud. — Dans les appareils où l'on sèche à l'air chaud, on fait, dans un temps donné passer au contact des corps humides un certain poids d'air préalablement chauffé.

Pour arriver à connaître le poids d'air qu'il convient de faire circuler dans le séchoir, étant donnée la quantité d'eau à évaporer, nous allons d'abord déterminer le poids d'air nécessaire pour enlever au corps mouillé 1 kilogr. d'eau, ce qui permettra de calculer facilement le poids total d'air nécessaire au séchage. Nous calculerons ensuite la quantité de chaleur qu'il faut fournir à cet air et la température à laquelle il convient de le porter avant de l'utiliser.

Appliquons la formule établie au chapitre précédent, § 966.

$$W = 0{,}622 \frac{KF}{H - KF} P$$

dans laquelle

W représente le poids de vapeur contenu dans le mélange gazeux sortant du séchoir.

H la tension totale de ce mélange.

F la tension maxima de la vapeur à t°.

K le coefficient de saturation.

Nous admettons que l'air évacué sort saturé, nous devons donc prendre $K = 1$ et la relation devient :

$$W_1 = 0{,}622 \frac{F}{H - F} P = m_1 P \qquad [1]$$

en posant $m_1 = 0{,}622 \frac{F}{H - F}$.

Si dans l'équation (1) nous faisons $P = 1$ kilogr., il vient $W_1 = m_1$ et m_1 représente le poids de vapeur emporté par 1 kilogr. d'air saturé sortant du séchoir à la température t.

Ce poids m_1 de vapeur serait tout entier emprunté au corps humide placé dans le séchoir, si l'air entrant était complètement sec, mais il en est rarement ainsi. Nous pouvons nous placer dans les conditions les plus défavorables en supposant que l'air extérieur est saturé à la température θ. La tension correspondante de la vapeur est f et le poids d'air employé au séchage apporte un poids W_0 de vapeur donné par l'équation :

$$W_0 = 0{,}622 \frac{f}{H - f} P = m_0 P \qquad [2]$$

en écrivant que $m_0 = 0{,}622 \frac{f}{H - f}$.

Prenant $P = 1$ kilogr., comme ci-dessus, nous avons $W_0 = m_0$ et m_0 représente le poids de vapeur d'eau dissous dans 1 kilogr. d'air entrant dans le séchoir.

Le poids réel d'eau enlevé au corps humide par 1 kilogr. d'air pris saturé à θ° et sortant du séchoir également saturé à t° est

$$W = W_1 - W_0 = m_1 - m_0. \qquad [3]$$

Le poids d'air A nécessaire pour enlever 1 kilogr. d'eau au corps mouillé sera donné par la relation :

$$A = \frac{1}{m_1 - m_0} = \frac{1}{0,622} \times \frac{1}{\frac{F}{H-F} - \frac{f}{H-f}} \qquad [4]$$

ou si nous prenons $H = 0,76$ et si nous admettons que l'air affluent ne contienne aucune humidité, ce qui revient à supposer que $f = 0$, il viendra :

$$A_1 = \frac{1}{m_1} = \frac{1}{0,622} \times \frac{0,76 - F}{F} \qquad [5]$$

Connaissant le poids W d'eau qu'il s'agit d'évaporer, on détermine facilement le poids P d'air qu'il est nécessaire de faire passer dans le séchoir.

Calculons maintenant la quantité de chaleur C qu'il faut fournir à cet air entrant dans le séchoir. Cette quantité, abstraction faite des causes de pertes, est égale à celle emportée par le mélange d'air et de vapeur évacué.

Opérons sur le poids d'air A nécessaire pour enlever 1 kilogr. d'eau; soit t la température du mélange gazeux à la sortie du séchoir, θ la température de l'air ambiant supposé saturé et f la tension maxima de la vapeur à cette température $\theta°$, nous avons l'égalité :

$$\begin{aligned} C = 606,5 + 0,305t - t + A \times 0,2378(t - \theta) \\ + A \times 0,622 \frac{f}{0,76 - f} \times 0,480(t - \theta) \end{aligned} \qquad [6]$$

relation qui, en supposant $\theta = 0$ et $f = 0$, devient :

$$C = 606,5 - 0,695t + A \times 0,2378t \qquad [7]$$

ou bien :

$$C = r + Act$$

en posant :

$$r = 606,5 - 0,695t \qquad [8]$$

$$c = 0,2378 \qquad [9]$$

c capacité calorifique de l'air à pression constante.

En examinant la formule précédente (6), on voit qu'un minimum de C a lieu quand $t=0$; c'est le cas du séchage à l'air libre, ou encore quand A est nul, c'est-à-dire lorsqu'on opère à la température de l'ébullition, c'est le cas où le séchage s'effectue à 100°. Ces résultats sont identiques à ceux obtenus (966) dans le cas de l'évaporation; il ne pouvait en être autrement, puisque le séchage et l'évaporation sont deux opérations de même nature.

Enfin nous allons évaluer la température à laquelle l'air chaud doit être porté à son entrée dans le séchoir. En admettant que toute la chaleur soit apportée par cet air, l'abaissement de température est tel que la chaleur cédée par le poids A d'air est égale à la chaleur absorbée par l'évaporation d'un kilogr. d'eau, nous avons :

$$A \times 0{,}2378(T-t) + A \times 0{,}622 \frac{f}{0{,}76-f} 0{,}480(T-t) = 606{,}5 + 0{,}305t - t. \qquad [10]$$

Dans cette équation, les notations sont les mêmes que dans l'équation [6]; T désigne la température à laquelle l'air doit être chauffé. En admettant que $f=0$, ce qui peut être obtenu soit en refroidissant suffisamment l'air avant de le chauffer, soit en le faisant passer au contact de substances avides d'eau, l'équation se simplifie et devient :

$$A \times 0{,}2378(T-t) = 606{,}5 + 0{,}305t - t = 606{,}5 - 0{,}695t \qquad [11]$$

ou

$$Ac(T-t) = r.$$

c et r ont même signification que précédemment (9) et (8).

D'où l'on déduit

$$T - t = \frac{r}{Ac} \qquad [12]$$

et enfin

$$T = t + \frac{r}{Ac}. \qquad [13]$$

On remarquera que nous avons négligé la chaleur absorbée par le corps à sécher ainsi que les déperditions par les parois du

séchoir. La température de l'air affluent devra être augmentée en raison de la dépense de chaleur due à ces deux causes.

Nous avons réuni dans un tableau deux séries de valeurs de A, C, T calculées dans l'hypothèse que l'air entrant dans le séchoir ne contient pas d'humidité, que cet air, après avoir parcouru le séchoir, est évacué à la température de l'air ambiant ($t=\theta$). La première série de valeurs a été déterminée en supposant que l'air sortant est complètement saturé; la seconde en admettant que l'air est à demi saturé lorsqu'il quitte le séchoir.

On voit par ce tableau qu'à partir d'une certaine limite de t les valeurs de T vont rapidement en augmentant et qu'il est à peu près impossible de donner à t une valeur supérieure à 60°; même, en pratique, on ne peut guère dépasser la température $t=40°$. Les calculs qui nous ont conduit à ces conséquences sont basés sur l'hypothèse que l'air affluent apporte avec lui toute la chaleur nécessaire à la vaporisation de l'eau.

Il y aurait pourtant intérêt à opérer le séchage à une température aussi voisine que possible de 100°; le moyen à employer consiste à ne faire apporter par l'air qu'une fraction de la chaleur nécessaire à la vaporisation, le surplus étant fourni par des surfaces chauffantes placées dans le séchoir même et qui rayonnent directement sur les matières à sécher. La quantité de chaleur C nécessaire au séchage est toujours la même, mais la température de l'air affluent diminue d'autant plus que la chaleur fournie par le rayonnement direct est plus grande. Si m est la fraction de la chaleur totale apportée par l'air chaud, $1-m$ étant la proportion fournie par le rayonnement, on aura pour $\theta=0$ et $f=0$.

$$A \times 0{,}2378(T-t)=m(606{,}5+0{,}305t)$$

et la différence $T-t$ des températures est proportionlle à m; si $m={}^1/_2$ cette différence est réduite à moitié environ.

Les six dernières colonnes du tableau suivant ont été calculées en vue d'indiquer les valeurs de T correspondant à celles de t variant de 0 à 100°, dans l'hypothèse où l'air n'apporte avec lui que la moitié de la chaleur nécessaire, dans le cas où il sort complètement saturé, et dans celui où il est seulement à moitié saturé.

Tableau des valeurs de A, C, T, pour d

DONNÉES.				LA TOTALITÉ DE LA CHALEUR ÉTANT L'AIR SORTANT SATURÉ.					
t	F	$\frac{0,760}{F}$	r	A	Ac	Act	C	T − t	T
0°	0,0046	165,22	606,500	264,02	62,758	0,000	606,500	9,66	9,66
5	0,0065	116,92	603,025	185,39	44,067	220,335	823,360	13,68	18,68
10	0,0092	82,61	599,548	131,71	31,704	317,040	916,588	18,91	28,91
15	0,0127	59,84	596,070	94,610	22,489	337,335	933,405	26,51	41,51
20	0,0174	43,68	592,590	68,651	16,318	326,360	918,950	36,31	56,31
25	0,0236	32,20	589,108	50,276	11,951	298,775	887,883	49,29	74,29
30	0,0315	24,13	585,624	37,123	8,824	264,720	850,344	66,37	96,37
35	0,0418	18,18	582,138	27,565	6,552	229,320	811,458	88,70	123,70
40	0,0549	13,84	578,649	20,646	4,908	196,320	774,969	117,90	157,90
45	0,0714	10,64	575,157	15,507	3,686	168,870	741,027	156,04	201,04
50	0,0920	8,26	571,663	11,676	2,775	138,750	710,413	206,01	256,01
55	0,1175	6,47	568,165	8,793	2,090	114,950	683,115	271,85	326,85
60	0,1488	5,11	564,663	6,604	1,570	94,200	658,863	359,66	419,66
65	0,1869	4,07	561,158	4,928	1,171	76,115	637,273	479,21	544,21
70	0,2331	3,26	557,649	3,634	0,864	60,480	618,129	645,43	715,43
75	0,2885	2,64	554,136	2,627	0,624	46,800	600,936	888,04	963,04
80	0,3546	2,14	550,618	1,838	0,437	34,960	585,578	1260,14	1340,14
85	0,4330	1,76	547,096	1,214	0,289	24,565	571,661	1893,06	1978,06
90	0,5255	1,45	543,569	0,718	0,171	15,390	558,959	3178,71	3268,71
95	0,6338	1,20	540,037	0,320	0,076	7,220	547,257	7105,75	7200,75
100	0,7600	1,00	536,500	0,000	0,000	0,000	536,500	∞	∞

1° $A = \frac{1}{0,622} \times \frac{0,760 - F}{F}$ (F = tension de la vapeur d'eau en mètres de mercure à la sortie de l'appareil);

2° $r = 606,5 - 0.695t$;

3° Act (c = chaleur spécifique de l'air = 0,2378);

4° $C = r + Act$ et $C_1 = \frac{r}{2} + Act$;

5° $T - t = \frac{r}{Ac}$ et $T_1 - t = \frac{r}{2Ac}$.

verses températures comprises entre 0° et 100°.

FOURNIE PAR L'AIR AFFLUENT.						LA MOITIÉ DE LA CHALEUR ÉTANT FOURNIE PAR LE RAYONNEMENT.					
L'AIR SORTANT $\frac{1}{2}$ SATURÉ.						AIR SATURÉ.			AIR $\frac{1}{2}$ SATURÉ.		
A	Ac	Act	C	T — t	T	C_1	$T_1 - t$	T_1	C_1	$T_1 - t$	T_1
529,58	125,88	0,00	606,50	4,82	4,82	303,25	4,83	4,83	303,25	2,41	2,41
374,41	89,00	445,00	1048,03	6,78	11,78	521,85	6,84	11,84	746,51	3,39	8,39
264,07	62,77	627,70	1227,25	9,55	19,55	616,51	9,45	19,45	927,47	4,77	14,77
190,84	45,36	680,40	1276,47	13,14	28,14	635,37	13,25	28,25	978,44	6,57	21,57
138,87	33,01	660,20	1252,79	17,95	37,95	622,66	18,15	38,15	956,50	8,97	28,97
101,95	24,23	605,75	1194,86	24,31	49,31	593,33	24,64	49,64	900,30	12,15	37,15
75,99	18,06	541,80	1127,42	32,43	62,43	557,53	33,18	63,18	834,61	16,21	46,21
56,86	13,52	473,20	1055,34	43,06	78,06	520,39	44,35	79,35	764,27	21,53	56,53
42,90	10,03	401,20	979,85	57,69	97,69	485,65	58,95	98,95	690,53	28,84	68,84
32,61	7,75	348,75	923,91	74,21	119,21	453,45	78,02	123,02	636,33	37,10	82,10
24,96	6,03	301,50	873,16	94,80	144,80	424,58	103,00	153,00	587,33	47,40	97,40
19,02	4,52	248,60	816,77	125,70	180,70	399,03	135,92	190,92	532,68	62,85	117,85
14,83	3,53	211,80	776,46	159,96	219,96	376,53	179,83	239,83	494,13	79,98	139,98
11,48	2,73	177,45	738,61	205,53	270,55	356,69	239,60	304,60	458,03	102,77	167,77
8,88	2,11	147,70	705,35	264,29	334,29	339,31	322,71	392,71	426,53	132,14	202,14
6,88	1,64	123,00	677,14	337,89	412,89	323,87	444,02	519,02	400,07	168,94	243,94
5,27	1,25	100,00	650,62	440,49	520,49	310,27	630,07	710,07	375,31	220,24	300,24
4,05	0,96	81,60	628,70	569,85	654,85	298,11	946,53	1031,53	355,15	284,92	369,92
3,06	0,73	65,70	599,27	744,62	834,62	287,18	1589,35	1679,35	337,49	372,31	462,31
2,25	0,53	50,35	590,39	1018,94	1113,94	277,24	3552,87	3647,87	320,37	509,47	604,47
1,61	0,38	38,00	574,50	1411,84	1511,84	268,25	∞	∞	306,25	705,92	805,92

t température de l'air à la sortie du séchoir;
F force élastique maxima de la vapeur d'eau à t^0;
$r = 606,5 - 0,695t$, chaleur pour vaporiser à t^0 un kilogramme d'eau pris à cette même température t;
A poids d'air nécessaire pour vaporiser 1 kilogr. d'eau à t^0;
C chaleur à depenser pour évaporer 1 kilogr. d'eau;
T température de l'air chaud affluent;
L'air est supposé absolument sec à son entrée dans le séchoir.

En comparant les nombres correspondants du tableau, on voit que, dans l'hypothèse où toute la chaleur est apportée par l'air entrant dans le séchoir, pour que l'air puisse sortir saturé à la température de 60°, par exemple, il faut que T=420°; si, au contraire la moitié de la chaleur est fournie directement, la température de l'air à son entrée descend à 240°.

En admettant que l'air sorte à moitié saturé à cette même température de 60°, la température T serait de 220° dans le premier cas et de 140°, dans les second.

987. Un séchoir doit satisfaire à certaines conditions générales dont dépend son fonctionnement et que nous allons résumer avant de passer en revue les différents systèmes employés dans l'industrie.

Les parois doivent être construites en matières peu conductrices de la chaleur et assez épaisses pour diminuer autant que possible les pertes de chaleur par le refroidissement extérieur.

Le nombre des ouvertures d'accès au séchoir doit être aussi réduit que possible, quoique suffisant cependant pour permettre d'effectuer rapidement le chargement et l'enlèvement des produits, dans l'intervalle des opérations. Mais, pendant la marche, il faut avoir grand soin de ne laisser ouverts que les orifices servant à l'entrée et à la sortie de l'air chaud.

L'air chaud employé pourra provenir directement d'un foyer toutes les fois que les matières en traitement ne risquent pas d'être altérées par la fumée et les poussières entraînées, ce qui d'ailleurs est assez rare; le plus généralement cet air viendra de calorifères spéciaux où il aura été chauffé; ces calorifères feront l'objet d'une étude particulière dans l'un des chapitres suivants.

En tous cas, il est important que l'air chaud arrive par la partie supérieure pour s'échapper par des ouvertures ménagées dans le sol ou près du sol quand il est refroidi et par conséquent plus dense. A ce moment, du reste, il doit être saturé de vapeur d'eau.

Si l'on prenait la disposition inverse, les gaz chauds tendraient à s'élever dès leur entrée pour gagner les orifices de sortie, il pourrait s'établir un passage direct d'air entre les entrées et

les sorties du séchoir, et l'effet produit serait à peu près nul.

Quant au mouvement de l'air, il peut être aidé soit par un ventilateur, soit par une cheminée. Dans ce dernier cas, on fait communiquer les orifices d'évacuation du séchoir avec une gaine dans laquelle passe la cheminée du calorifère à air chaud.

Enfin, quand les matières à sécher ne doivent être soumises qu'à une température déterminée, il est utile de pourvoir les séchoirs de régulateurs de température.

988. Étendage. — On se sert parfois dans les filatures et les tissages, pour l'étendage, d'une grande chambre de 5, 10 et même 20 mètres d'élévation, dans laquelle les pièces d'étoffe sont suspendues à des solives transversales, de manière que les tissus occupent toute la hauteur de la chambre et présentent au contact de l'air le plus grand développement possible.

A la partie inférieure de la chambre se trouve un calorifère avec des bouches d'air chaud disposées dans le plancher et des évacuations sont réservées à la partie inférieure des murs.

L'air chaud arrivant par les bouches du calorifère s'élève d'abord, il se refroidit en se chargeant d'humidité, redescend et s'échappe par les orifices des gaînes d'évacuation.

On obtient dans ces séchoirs une température croissant jusqu'à 60° au maximum, et on vaporise de $1^k,50$ à $2^k,50$ d'eau au plus par kilogr. de houille, soit en moyenne 2 kilogr. environ. On est obligé d'entrer dans la chambre de séchage pour changer les tissus, ce qui est une cause de perte de chaleur importante.

989. Séchoir de Bouillon et Muller. — Dans cet appareil (fig. 558, 559) qui est destiné spécialement au séchage du linge, le chauffage de l'air est produit par un calorifère placé au-dessous de la chambre de séchage S. Cette chambre a des dimensions très restreintes : 3 mètres de longueur, $1^m,50$ de largeur environ et $1^m,80$ de hauteur.

Les gaz de la combustion, à leur sortie du foyer F, circulent dans une série de tuyaux horizontaux AB, en tôle, disposés en serpentin sous le plancher du séchoir, puis gagnent par un conduit extérieur T la cheminée de tirage R. Tous les tuyaux

composant le serpentin sont pourvus de tampons disposés de façon à rendre le nettoyage aussi facile que possible.

L'air pris à l'extérieur et destiné au séchage est amené par un conduit souterrain C débouchant à la base et à l'arrière du foyer F. Cet air s'échauffe au contact des parois de cet appareil et de celles du serpentin parcouru par la fumée. Il pénètre ensuite

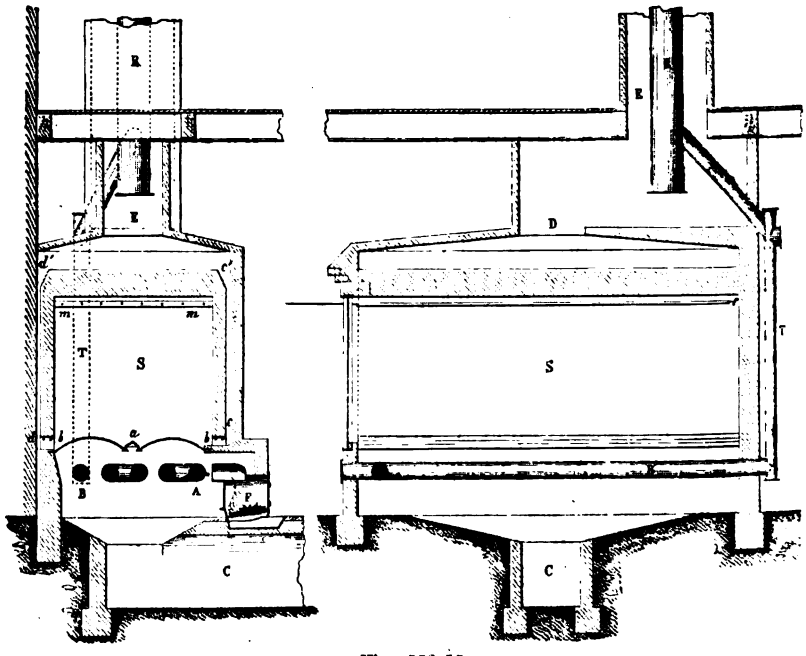


Fig. 558-559.

dans la chambre de séchage par des orifices aménagés dans le plancher.

L'air chauffé monte directement jusqu'au plafond de la chambre et redescend à mesure qu'il se refroidit et se charge d'humidité. Il s'échappe enfin par des ouvertures latérales *bb* pratiquées dans les murs près du sol et remonte dans des gaines verticales *cc'*, *dd'*, disposées dans les parois du séchoir et aboutissant dans un collecteur général D. L'air évacué se rend ensuite à la cheminée d'appel E qui entoure le conduit de fumée.

Plusieurs appareils de ce genre peuvent être réunis en batte-

rie et, dans ce cas, un seul calorifère peut servir au chauffage de l'air de plusieurs étuves.

Le linge à sécher est étendu sur des tubes ayant même longueur que le séchoir (3 mètres); ces tubes sont enfilés eux-mêmes sur des tringles fixées à la paroi du fond de la chambre de séchage et se prolongeant extérieurement d'une longueur égale à celle du séchoir. De cette façon, pour enlever le linge sec et faire ensuite l'étendage, il suffit d'attirer chaque tube à l'extérieur, de le débarrasser des objets séchés et de le réintroduire dans la chambre lorsqu'il est chargé d'objets mouillés.

Pour éviter qu'il ne se produise des rentrées d'air froid considérables pendant ces manœuvres, la paroi du séchoir est garnie d'une série de portes étroites correspondant à chaque tringle. On ouvre l'une des portes au moment opportun et on la referme aussitôt. On évite ainsi un refroidissement excessif dans le séchoir.

SÉCHAGE MÉTHODIQUE.

990. Dans les dernières périodes du séchage, l'air ne sort plus saturé des appareils et il y a, de ce fait, une assez grande perte de chaleur. Pour supprimer cet inconvénient, on a cherché à rendre l'opération méthodique.

Une des premières dispositions imaginées a été appliquée au séchage des tissus et consiste à établir à la partie basse de la chambre du séchoir deux bouches percées sur les faces opposées. Chacune d'elles peut, par la manœuvre d'un registre, servir soit à introduire l'air chaud, soit à évacuer l'air refroidi et humide.

Les tissus étant disposés dans le séchoir, on fait arriver l'air chaud d'abord par la bouche de droite, et l'évacuation se fait par la bouche de gauche. Au bout d'un certain temps, lorsque la dessiccation est produite dans la partie de droite, on retire les tissus séchés et on les remplace par des tissus mouillés; on fait arriver l'air chaud par la bouche de gauche et on évacue par celle de droite.

Lorsque le séchage des objets placés à gauche est effectué, on change le sens de circulation de l'air, etc. Il faut avoir soin de

toujours faire arriver l'air chaud du côté où l'opération est sur le point d'être terminée.

On peut évaporer de 1 à 2 kilogr. d'eau par kilogr. de combustible brûlé dans le foyer.

991. Séchoir Péclet. — L'appareil (fig. 560) se compose de deux chambres égales A et B munies chacune d'un tuyau en

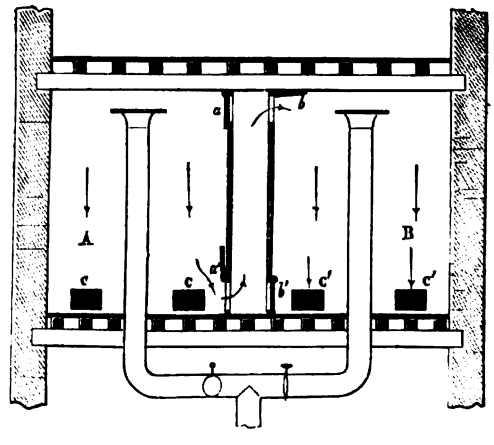


Fig. 560.

tôle débouchant près du plafond et servant alternativement à l'introduction de l'air chaud. Entre ces deux capacités se trouve un conduit vertical muni, en haut et en bas, d'ouvertures pourvues de registres *a*, *a'*, *b*, *b'*, qui permettent d'établir des communications appropriées entre les chambres; enfin près du sol se trouvent des orifices d'évacuation CC, C'C'.

Pour faire une opération, on fait un chargement de matières humides dans les deux chambres. On laisse ensuite arriver l'air chaud dans l'une d'elles, A, par exemple; on ferme les ouvertures *a*, *b'* et C, on ouvre *a'*, *b* et C'. L'air chaud émis à la partie haute de la chambre A, descend en se refroidissant, franchit l'ouverture *a'* et s'élève dans le conduit central. Il arrive au plafond de la chambre B et redescend en achevant de se refroidir et de se charger de vapeur d'eau. Il s'échappe enfin par les orifices C' C' pour se rendre à la cheminée d'appel.

Quand les matières renfermées dans la chambre A sont sèches, on ferme de ce côté l'arrivée d'air chaud. On fait passer celui-ci par le conduit qui débouche dans la chambre B, et on ferme les registres *b* et *a'*. On enlève les matières sèches de la chambre A et on fait un nouveau chargement de matières humides. Aussitôt que l'air sortant de la chambre B n'est plus saturé, on le fait passer à la partie haute de la chambre A, au moyen d'une manœuvre convenable des registres *b'*, *a*, C' et C.

Le mouvement de l'air a lieu comme précédemment, sauf que l'air chaud circule d'abord dans B et ensuite dans A, et s'échappe par les ouvertures C C ménagées à la partie basse de cette dernière chambre.

Lorsque le séchage des matières placées dans la chambre B est effectué, on rétablit l'arrivée d'air chaud dans A, on enlève les produits secs de B et on les remplace par ceux à sécher, on fait la manœuvre des registres et on laisse l'opération se continuer comme précédemment.

Cette émission alternative de l'air chaud, dans la chambre A, puis dans la chambre B, permet d'éviter la perte de chaleur qui se produit dans la dernière période du séchage, car l'air est évacué à l'état de saturation aussi longtemps qu'il reste des matières humides à traiter. Toutefois, à la fin de chaque opération, la totalité de l'air chaud contenu dans le séchoir se trouve remplacé par de l'air froid extérieur. Il résulte de là une perte inévitable à laquelle viennent s'ajouter les déperditions par les parois de la chambre de séchage.

Pour réduire ces pertes, il faut réduire le plus possible les dimensions intérieures du séchoir et donner aux murs une épaisseur convenable.

992. Séchoirs pour les tissus. — On emploie généralement des appareils de dimensions peu étendues et dans lesquels le séchage s'effectue d'une façon méthodique.

L'appareil représenté fig. 561 se compose d'une caisse ABCD, ordinairement en bois, et dont le dessus et le fond sont percés d'une fente étroite servant à livrer passage à l'étoffe. Celle-ci arrive par la fente supérieure de la caisse, décrit un chemin

sinueux en contournant des rouleaux mobiles horizontaux et sort par la fente inférieure. L'air chaud est introduit par des ouvertures E, F ménagées dans le bas de la paroi verticale du séchoir, passe au contact des deux faces de l'étoffe et circule en sens inverse de celle-ci. Dans sa marche ascendante, l'air est forcé de contourner une série de cloisons horizontales *ab*, *cd* disposées en chicanes, et est évacué par des orifices GH ménagés à la partie haute du séchoir.

On peut modifier cet appareil de

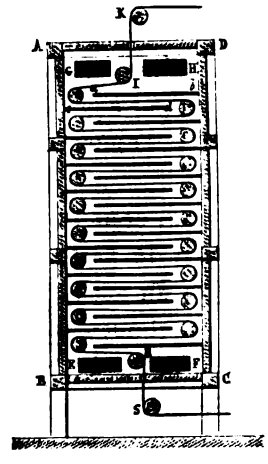


Fig. 561.

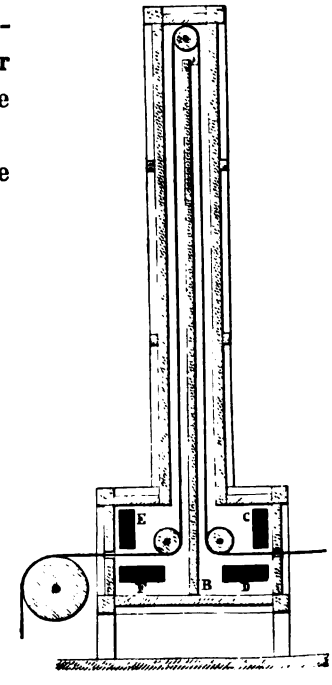


Fig. 562.

la façon suivante : la caisse (fig. 562) est divisée en deux par une cloison verticale qui ne monte pas tout à fait jusqu'au fond supérieur; l'étoffe à sécher entre à la partie inférieure de l'appareil, s'élève dans un des deux compartiments, se replie sur un rouleau placé dans l'espace laissé libre entre le haut de la cloison et le fond supérieur de la caisse, puis redescend dans le second compartiment pour sortir du séchoir vis-à-vis du point où elle est entrée. L'air chaud arrive par les orifices C, D et s'échappe par E, F. Dans cet appareil comme dans le précédent, l'air chaud suit le même chemin que le tissu, mais en sens inverse.

Le mouvement de l'air peut être produit soit par une cheminée d'appel, soit par un ventilateur.

993. Séchoir à papier. — Le séchoir représenté (fig. 563-564) se compose de deux chambres rectangulaires A et B accolées, qu'un mur de refend partage en deux compartiments ayant

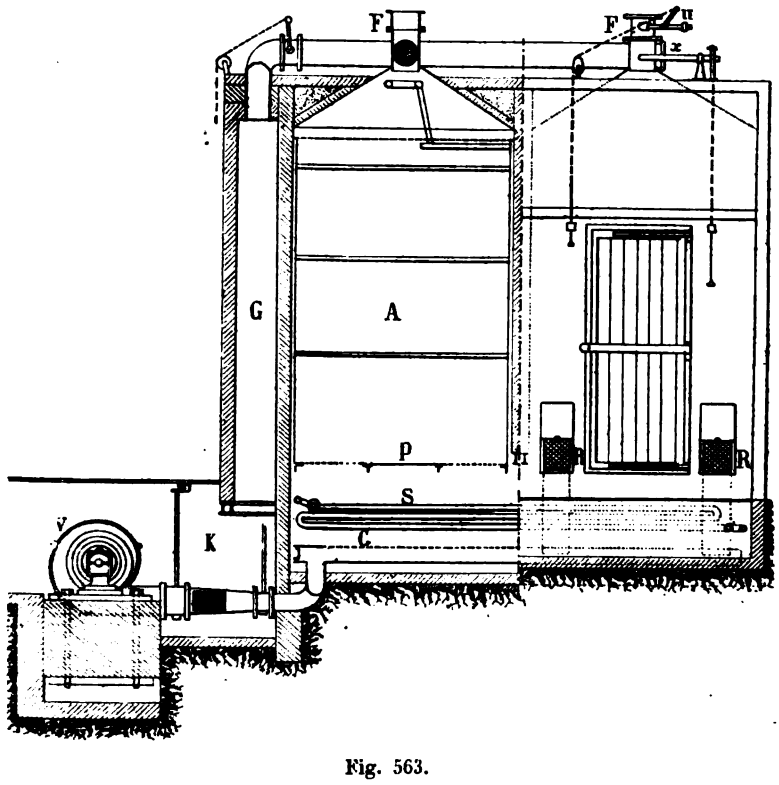


Fig. 563.

chacun leur porte de service. Ces compartiments sont divisés en trois étages par des planchers à claire-voie utilisés pour faire l'étendage des papiers à sécher. Chaque chambre est pourvue à sa base de quatre orifices RR de prise d'air extérieur (deux par compartiment) munis d'un registre; d'une caisse métallique C, dont le dessus est ajouré, et qui permet de répartir sur toute la longueur de la chambre l'air insufflé par un ventilateur; d'une surface chauffante S à vapeur, composée de trois rangées de

tuyaux horizontaux disposés en quinconce; enfin, d'un plancher P divisé, dans chaque compartiment, en trois bandes, dont celle du milieu est pleine et forme chemin de service, tandis que les deux autres sont ajourées et servent à l'émission de l'air chauffé.

Le plafond de chaque compartiment est disposé en forme de

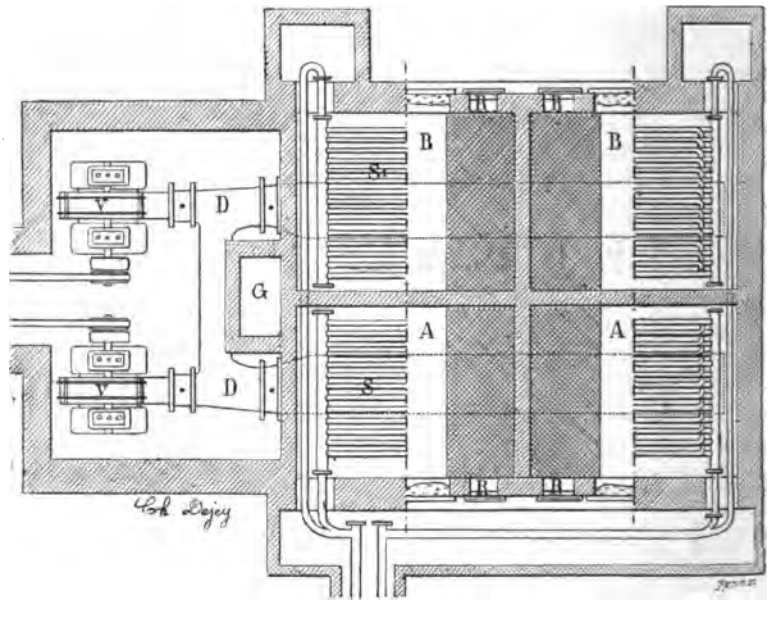


Fig. 564.

hotte. Celle-ci est surmontée d'une cheminée, munie d'une valve *u* permettant l'évacuation directe de l'air humide, quand l'exige la marche des opérations. Au-dessous de la cheminée est disposée une gouttière annulaire qui recueille, pour les écouler au dehors, les gouttelettes d'eau provenant de la condensation des vapeurs de l'air humide et qui sans cette précaution retomberaient sur les produits soumis au séchage.

Vers le bas de chaque cheminée se trouve un branchement pourvu d'une valve et aboutissant à un collecteur desservant les deux compartiments d'une même chambre A ou B. Les collecteurs aboutissent à une gaine verticale G qui débouche dans la chambre K d'aspiration de deux ventilateurs VV dont l'un

sert de rechange. Ces ventilateurs ont leur buse de refoulement reliée à un système de conduites DD pourvues d'un jeu de valves permettant d'insuffler l'air dans l'une ou l'autre chambre de séchage, suivant les besoins du service.

Lorsque le séchoir est en fonctionnement normal, le ventilateur en marche produit un appel dans la cheminées desservant la chambre A, par exemple, qui contient les produits dont l'état de siccité est le plus avancé. Les valves *u* permettant l'évacuation directe par la cheminée sont maintenues fermées, tandis que la valve *x* de la conduite horizontale communiquant avec le ventilateur est ouverte.

Les prises d'air extérieur RR de la chambre A sont ouvertes, et l'air neuf arrive en contre-bas de la batterie de chauffage S de cette chambre. Cet air vient rencontrer les tuyaux de vapeur et s'échauffe; il traverse les parties perforées du plancher, s'élève dans la chambre A et circule au contact des surfaces encore humides. Il est appelé par l'effet du ventilateur V et est ensuite refoulé dans la caisse perforée C établie au-dessous de la surface chauffante S de la chambre B dont les prises d'air extérieur sont fermées.

Cet air déjà humidifié emprunte une certaine quantité de chaleur à la batterie S et passe ensuite au contact des produits mouillés déposés dans la chambre B. Finalement, il s'échappe par les cheminées d'évacuation F, dont les valves *u*, sont ouvertes, tandis que les valves *x*, sont fermées.

Pour éviter que l'air traversant le séchoir ne passe trop directement à la cheminée de sortie, on a disposé à la naissance des hottes une espèce de chicane horizontale perforée, de façon que l'air évacué provienne à la fois de tous les points de la surface du séchoir.

Quand les papiers placés dans la chambre A sont secs, on les enlève et on les remplace par des papiers humides. On manœuvre les registres et valves diverses de façon à faire arriver l'air neuf dans le séchoir B et à faire passer l'air sortant de B dans la chambre A.

Nous avons vu qu'on réchauffe l'air sortant du séchoir A avant

de le faire arriver dans B, et vice versa. Cette opération a pour but d'obtenir un effet déterminé en portant à un degré moindre la température initiale de l'air affluent dans le séchoir et de pouvoir utiliser, pour le chauffage, de la vapeur à basse pression; ce mode de procéder est surtout avantageux lorsqu'il s'agit de dessécher des produits qui peuvent être altérés par leur contact avec de l'air fortement chauffé. De plus, comme la température des chambres de dessiccation est moindre que dans le cas où l'air doit apporter, en entrant dans le séchoir, toute la chaleur nécessaire au séchage, les pertes de chaleur par les parois des chambres se trouvent réduites et le personnel peut entrer et séjourner plus facilement dans le séchoir lorsqu'il y a lieu d'enlever les papiers secs et de les remplacer par des produits humides.

Le fonctionnement de ce séchoir à papier diffère de celui du séchoir Péclet, en ce que la circulation dans les chambres de dessiccation a toujours lieu de bas en haut, tandis que dans le séchoir Péclet elle se produit de haut en bas. De plus, dans le séchoir à papier l'air déjà humide, sortant de la chambre où est le séchage plus avancé, est chauffé de nouveau avant de traverser la chambre renfermant les produits dont l'état de siccité est moins avancé.

994. Séchage méthodique des matières pulvérulentes. — Dans les séchoirs destinés à traiter les matières pulvérulentes, on cherche souvent à réaliser le séchage méthodique et on doit s'appliquer à étendre les corps à traiter en couche mince sur une ou plusieurs tablettes au contact desquelles circule l'air chaud.

On a construit des appareils dans lesquels ces tablettes sont constituées par des tôles percées d'un grand nombre de petits orifices, ou mieux par des toiles métalliques à travers lesquelles passe l'air chaud destiné à sécher, et c'est afin de rendre plus complète l'utilisation de la chaleur qu'on superpose un certain nombre de ces tablettes.

Ces séchoirs appelés tourailles sont principalement destinés à dessécher les grains d'orge auxquels on a fait subir un com-

mencement de germination pour les préparer à la fermentation alcoolique.

Une des plus anciennes dispositions de touraille continue est due à M. Lacambre. La chambre de séchage renferme deux séries de planches inclinées alternativement en sens contraire et mobiles autour d'un axe horizontal qui les supporte en leur milieu. Une tige verticale placée dans l'axe de la chambre et pourvue de taquets est animée d'un mouvement de va-et-vient, afin d'imprimer des secousses aux planches contre lesquelles viennent frapper les taquets.

L'orge humide sortant du germoir est amenée d'une manière continue sur les deux planchers supérieurs, et, par l'effet des secousses, descend graduellement d'étage en étage en se desséchant au contact de l'air chaud qui circule de bas en haut.

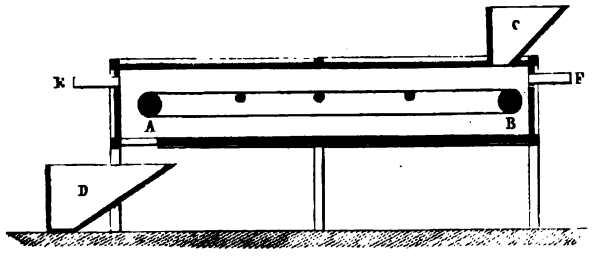


Fig. 565.

On peut employer une disposition analogue à celle déjà décrite pour le séchage des tissus. L'appareil (fig. 565) se compose d'une longue caisse dans laquelle une toile sans fin qui s'enroule sur deux rouleaux A, B est animée d'un mouvement continu; les matières à sécher sortent d'une trémie C placée à l'une des extrémités; elles sont entraînées par la toile sans fin, passent au contact de l'air chaud qui circule en sens inverse, c'est-à-dire de E vers F, et tombent enfin dans une trémie D placée sous l'appareil à l'aplomb du rouleau A, au point où la toile se replie.

On a cherché à augmenter le rendement de cet appareil en mettant plusieurs toiles sans fin étagées qui se meuvent, celles

des rangs pairs dans un sens, celles des rangs impairs dans le sens opposé, et sur lesquelles la matière pulvérulente tombe successivement, tandis que des chicanes obligent l'air à suivre un chemin opposé. La complication des transmissions de mouvement aux divers rouleaux a empêché cet appareil de donner les résultats qu'on en attendait.

995. Dessiccation du bois. — Les bois, tels qu'on les trouve dans le commerce, renferment généralement de 0,30 à à 0,40 d'eau. Lorsque le bois doit être employé pour certains travaux de menuiserie, tels que la construction des wagons, etc., il est nécessaire qu'il soit desséché, sinon la dessiccation lente amènerait un retrait, le bois pourrait se fendre ou tout au moins les parties assemblées se disjoindraient.

On sait que le bois humide a une puissance calorifique moindre que le bois sec. Son emploi comme combustible peut rendre impossible l'obtention des températures élevées dont on a besoin dans certaines opérations industrielles. Dans ce cas, il y a donc lieu de le sécher lors même que le séchage entraînerait une dépense importante de combustible.

996. Séchage des bois à l'atelier des voitures du chemin de fer du Nord à Tergnier. — Avant de servir à la construction des wagons, les bois doivent être parfaitement secs, afin d'éviter que leur dessiccation lente ne produise la disjonction des assemblables des parois des voitures, ce qui ne manquerait pas de se produire si les bois employés conservaient encore une partie de leur humidité naturelle. On arrive à obtenir des produits suffisamment secs en soumettant les bois à l'action des gaz de la combustion d'un foyer. Ce traitement porte le nom de fumage, et on le fait suivre d'un flambage.

Le fumage et le flambage se font dans des bâtiments spéciaux et différents. L'atelier de séchage de Tergnier a été établi sous la direction de M. Bricogne, ingénieur inspecteur principal du matériel de la compagnie du Nord, qui a bien voulu nous fournir des renseignements sur ces opérations.

Fumage. — Le fumage s'effectue dans une étuve à deux foyers (fig. 566), maintenue pendant plusieurs jours à une

température de 50 à 60° qu'il faut réaliser le plus rapidement possible. Ce degré de température est obtenu en trois heures environ. La fumée des deux foyers, dans lesquels on brûle de la sciure de bois, circule dans l'étuve pendant tout le temps de l'opération. La température normale de 50 à 60° doit être main-

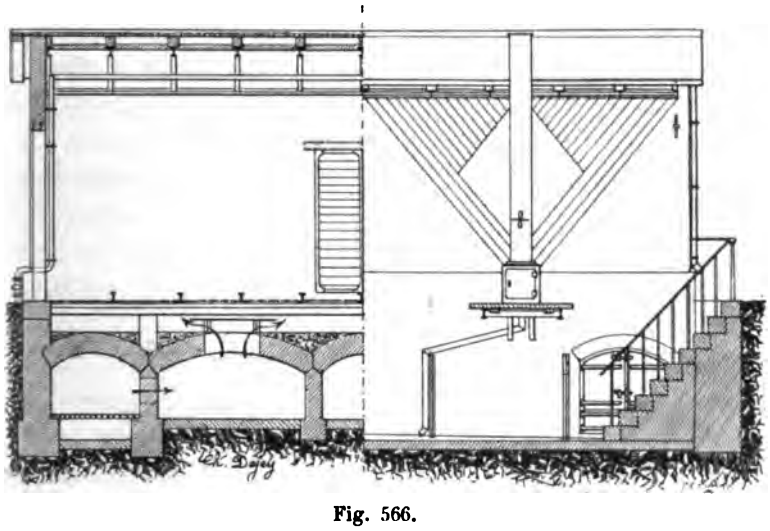


Fig. 566.

tenue jour et nuit, quel que soit l'état de l'atmosphère, pendant six jours pour les bois de chêne et pendant trois jours pour les bois blancs.

Les bois à dessécher sont disposés dans l'étuve de manière que les pièces de plus fort équarrissage occupent la partie inférieure et les autres la partie supérieure. Afin d'assurer la libre circulation de la fumée, on n'introduit dans le séchoir qu'un volume de bois sensiblement égal à la moitié de la capacité de l'étuve.

Cette dernière est constituée par une chambre en maçonnerie rendue étanche au moyen d'un enduit en ciment de 0,02 d'épaisseur. La charpente de la couverture est en fer et supporte un plafond en ciment de 0,04 d'épaisseur, établi sur une série de fers carrés croisés. Le plancher se compose de deux poutres longitudinales en fer à double T, sur lesquelles reposent des rails

placés transversalement; entre chacun de ces derniers et appuyées sur leurs patins sont disposées des plaques de tôle striée percées de trous de 0,05 de diamètre. Ces orifices sont destinés à assurer l'égale répartition de la fumée à sa sortie des foyers situés sous l'étuve. Ceux-ci sont établis dans deux petites galeries latérales ; le service pour la conduite et l'entretien du feu se fait par la galerie d'accès qui règne sur toute la longueur du bâtiment et qui est pourvue de deux escaliers. Le combustible

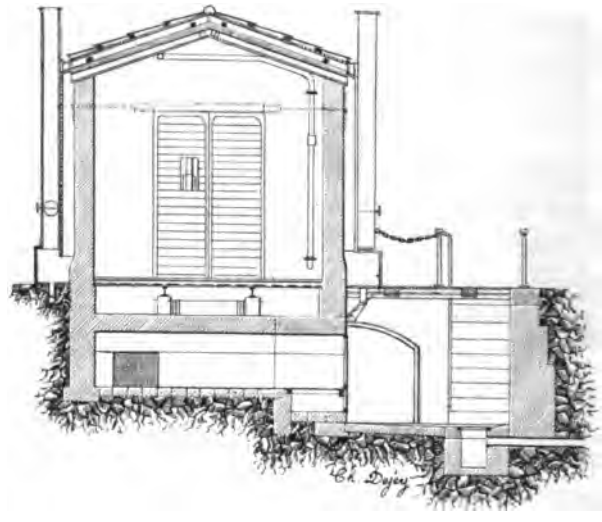


Fig. 567.

brûlé sur les grilles n'est autre chose que les résidus de l'atelier tels que la sciure et les copeaux, dont les fumées fortement créosotées se fixent sur les pièces de bois soumises à la dessiccation.

La circulation des produits de la combustion s'effectue de la façon suivante pour chaque foyer : les gaz qui se dégagent du foyer gagnent le fond du fourneau, passent dans une large galerie voisine et s'échappent par une ouverture circulaire ménagée dans la voûte de celle-ci. Ils rencontrent alors une plaque de tôle pleine ou chicane qui les empêche de sortir directement et les oblige à se répandre sous toute la surface du plancher perforé. Ils sortent ensuite par les orifices de ce dernier, s'élè-

vent alors dans l'étuve, en circulant au contact des bois et se chargent de vapeur d'eau.

Le mélange de fumée et de buée s'échappe par des ouvertures étroites, situées à la naissance du toit, de chaque côté du bâtiment et sur toute sa longueur, puis redescend de chaque côté par quatre trémies terminées par des conduits obliques qui se rejoignent deux à deux près du sol. Ces trémies accolées à la face extérieure des murs sont en bois et recouvertes intérieurement d'une couche de ciment.

Au point de jonction des conduites se trouve un coffre qui communique avec la cheminée par laquelle s'échappent les gaz de la combustion, tandis que l'eau condensée s'écoule dans une gouttière pour se rendre à un caniveau collecteur.

Chaque étuve est munie, à l'intérieur, près du plafond, d'une conduite de distribution d'eau, percée de trous et destinée à inonder les bois en cas d'incendie.

On peut faire 70 à 85 opérations de séchage en une année, et le prix de revient, en tenant compte de tous les frais, chargement et déchargement des étuves, etc., ne dépasse pas 2f,86 par stère.

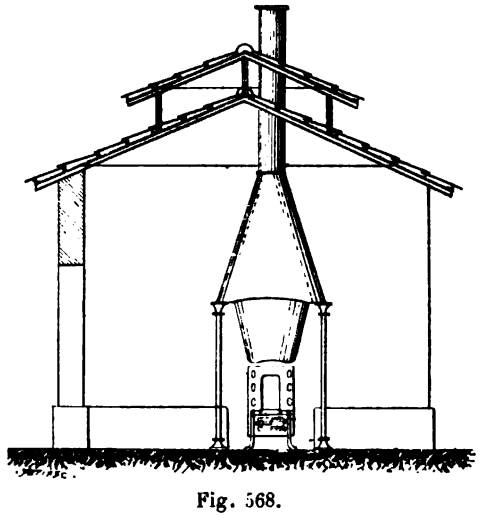


Fig. 568.

Flambage. — Les bois ainsi desséchés tendent à reprendre rapidement une nouvelle quantité d'humidité. Pour parer à cet inconvénient, on procède à leur flambage, aussitôt après le séchage.

Cette opération se fait dans un fourneau à coke, sorte de brasero (fig. 568) au centre duquel se trouve ménagée une capacité de section rectangulaire, protégée, par des bar-

reaux en fer rond, contre l'envahissement du combustible.

On enduit les bois à flamber d'une légère couche d'huile minérale mélangée d'un peu de goudron et on les passe dans la capacité libre du foyer. Le mélange gras s'enflamme et carbonise le bois sur une épaisseur presque inappréciable, mais suffisante pour former une espèce d'enduit imperméable.

Pendant ce traitement, les pièces de bois sont soutenues par des rouleaux qui se trouvent de chaque côté du foyer, et on les manie avec une pince spéciale; elles sont ensuite brossées et emmagasinées.

Le prix de revient du flambage, y compris le brossage, est de $0^{f},088$ le mètre carré.

L'opération que nous venons de décrire s'effectue très rapidement, mais elle est un peu délicate, et on risque parfois de brûler les pièces aux angles. Pour les parties plus soignées, le flambage s'effectue après le montage à l'aide d'un réchaud à main renfermant l'huile qui sert à enduire les pièces et communiquant avec un soufflet de forge mobile. Lorsqu'on veut faire une opération, on actionne le soufflet, il sort de l'appareil un mélange d'air et de particules d'huile; on enflamme ce mélange et on promène la flamme sur toute la surface du bois à flamber.

Les mortaises et les trous de boulons percés après coup sont flambés au fer rouge.

997. Séchoirs méthodiques pour le bois. — La disposition que nous allons décrire est surtout employée pour le bois destiné au chauffage des fours de verrerie.

Le séchoir (fig. 569) est formé d'une galerie en maçonnerie pourvue de rails sur lesquels roulent des wagonnets en fer chargés du bois à dessécher. Le foyer est placé à l'une des extrémités et en contrebas de la galerie. Les gaz de la combustion commencent par circuler dans un tuyau en fonte établi dans un caniveau couvert par des plaques métalliques percées de trous. L'air affluent passe au contact du tuyau de fumée et s'échauffe avant d'entrer dans le séchoir où il arrive en passant à travers les orifices des plaques métalliques. Lorsque la fumée est suffisamment refroidie, elle pénètre à son tour dans la galerie et

contribue directement au chauffage du bois ; on a donc dans une partie de l'étuve un chauffage par l'air, et, dans l'autre partie, un chauffage par la fumée. Cette manière d'opérer a pour but de diminuer les chances d'incendie.

Les chariots chargés de bois humide sont introduits du côté chauffé par la fumée et sont retirés à l'autre extrémité quand l'opération est terminée; ils circulent donc en sens inverse des gaz chauds.

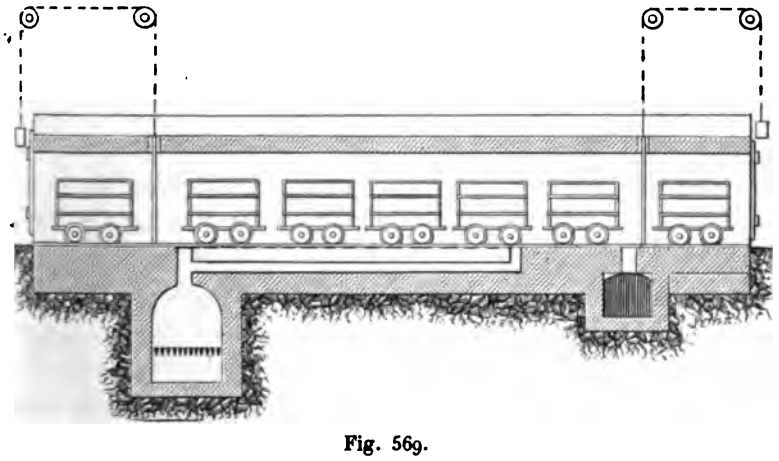


Fig. 569.

La galerie de séchage se termine à chaque extrémité par une chambre, munie de deux portes et servant de sas ; cette disposition permet d'éviter des rentrées importantes d'air froid dans l'étuve, lorsqu'on effectue les manœuvres d'entrée et de sortie des chariots.

Les gaz de la combustion ainsi que l'air employé au séchage et la vapeur d'eau s'échappent par un conduit placé à la partie inférieure près de l'entrée du séchoir.

Lorsqu'il se déclare un incendie, ce qui se reconnaît à l'aspect de la fumée sortant de la cheminée, on retire les wagonnets jusqu'à ce qu'on soit arrivé à celui dans lequel l'accident s'est produit, et on le met de côté. Comme la masse à dessécher est toujours fractionnée, on comprend que les pertes résultant des incendies se trouvent toujours fort limitées.

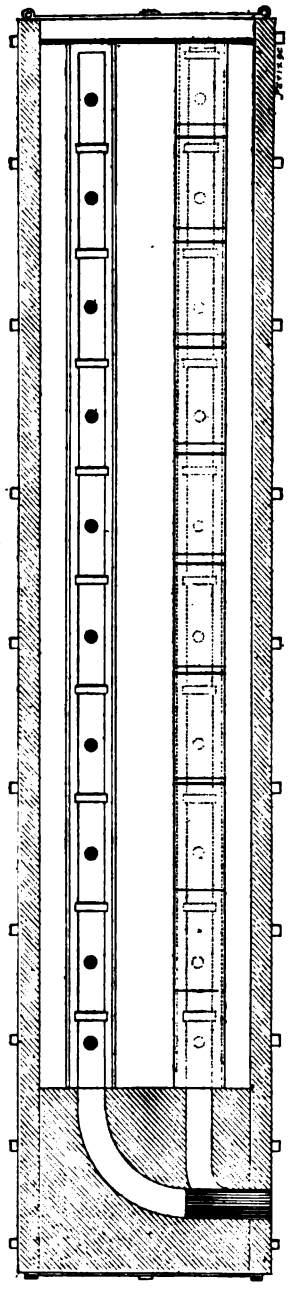


Fig. 570.

998. A Baccarat, on a construit des séchoirs (fig. 570-571) disposés comme le précédent, mais dont ils diffèrent cependant par le mode de chauffage.

La galerie de séchage est pourvue de deux voies parallèles entre les rails desquelles sont deux caniveaux qui renferment chacun une conduite dont l'une des extrémités communique avec le foyer, et dont l'autre est fermée.

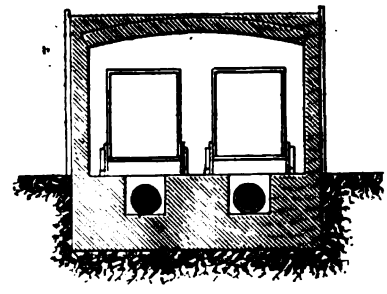


Fig. 571.

Ces conduites sont formées de tuyaux en fonte, de $0^m,35$ de diamètre environ, percés d'une série d'orifices à leur partie supérieure. Les gaz de la combustion se répandent simultanément dans les deux tuyaux et s'échappent par les orifices dont nous venons de parler, pour gagner la cheminée placée au-dessus du séchoir à l'extrémité opposée au foyer. La suppression de la circulation accessoire d'air chaud a été faite en vue de diminuer la dépense de chauf-

fage. On sait, en effet, que plus on fait passer d'air dans les séchoirs, plus est grande la dépense de chaleur.

On peut faire au séchage direct du bois par les produits de la combustion des foyers le reproche de soumettre les produits les plus secs au contact de gaz très chauds, ce qui donne lieu à de grandes chances d'incendie.

999. Dessiccation de la tourbe. — La tourbe employée pour le chauffage domestique est généralement séchée à l'air libre; mais ce procédé laisse dans la masse une grande quantité d'eau, qu'il faut absolument éliminer quand on destine ce combustible à des usages industriels.

Pour sécher la tourbe fraîche, on avait essayé de la soumettre à la compression, afin d'extraire une partie de l'eau qui la mouille et d'obtenir un produit pouvant être desséché très rapidement par la chaleur et à peu de frais. Mais on reconnut que la tourbe comprimée abandonne lentement l'eau qui l'imprègne et que les incendies étaient plus fréquents que dans les séchoirs où l'on traitait la tourbe naturelle n'ayant subi aucune préparation.

On a donc été conduit à sécher la tourbe divisée en menus fragments et à l'agglomérer ensuite. En opérant de cette manière, on arrive à effectuer la dessiccation avec une très grande rapidité.

Les séchoirs ordinairement employés présentent une grande analogie avec les séchoirs à bois. Toutefois, on évite de mettre la tourbe au contact des gaz chauds de la combustion tant que leur température dépasse 120 à 130° centigrades.

§ V

SÉCHAGE PAR CHAUFFAGE DIRECT.

1000. Un des moyens les plus simples de séchage direct consiste à sécher par le rayonnement d'un foyer. Ce procédé est employé pour le séchage des étoffes.

L'appareil (fig. 572) se compose de deux cloisons verticales parallèles, entre lesquelles on fait circuler un chariot portant un foyer. Les tissus sont fixés à deux longrines pla-

cées à la partie supérieure des cloisons ; on fait avancer lentement le chariot et le foyer sèche les tissus sans en altérer les nuances. On obtient ainsi un séchage rapide qui convient à certaines opérations.

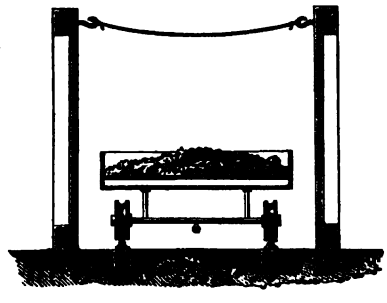


Fig. 572.

Dans les fabriques de toiles peintes, dans les teintureries, on évite de cette façon les frottements qui nuiraient à la netteté des réserves.

1001. Séchoir de Goulston-Square. — Cet appareil (fig. 573) employé aux bains et lavoirs publics de Goulston-Square comprend une série de chambres de petites dimensions ($1^m,80$ de hauteur sur $1^m,50$ et 2 mètres de largeur), chauffées à la partie inférieure par deux tuyaux horizontaux A et B, dans lesquels circulent les gaz de la combustion d'un foyer. On pourrait également chauffer avec une série de tuyaux de petit diamètre dans lesquels circulerait de la vapeur ou de l'eau à haute température. Le plafond des chambres est formé par deux voûtes laissant entre elles un vide Q pour diminuer les pertes par transmission à travers les parois. Le linge à sécher est placé sur une série de chariots mobiles très étroits, en métal, dont la face d'avant et celle d'arrière forment porte. La face d'avant est pourvue d'une poignée M qui sert à la manœuvre, et de plus elle est garnie de feutre destiné à former joint entre le chariot et l'encadrement de la porte afin d'empêcher les fuites d'air chaud. Le châssis mobile est porté par des galets NP qui roulent sur des rails IF.

Pendant l'opération, l'air s'échauffe au contact des tuyaux inférieurs, s'élève, se refroidit au contact des surfaces mouillées, redescend se chauffer, et recommence son parcours. Un tampon mobile disposé au-dessus de la chambre de séchage est ouvert de temps en temps et permet l'évacuation de l'air humide, qui se trouve remplacé par de l'air sec. On ouvre le tampon le moins souvent possible afin de réduire au minimum la quantité d'air employée.

Cet appareil permet de produire le séchage à un prix moins élevé que les séchoirs ordinaires à air chaud. Mais, par contre, la dessiccation est plus lente et le linge ne présente pas la blancheur que l'on obtient avec ceux-ci.

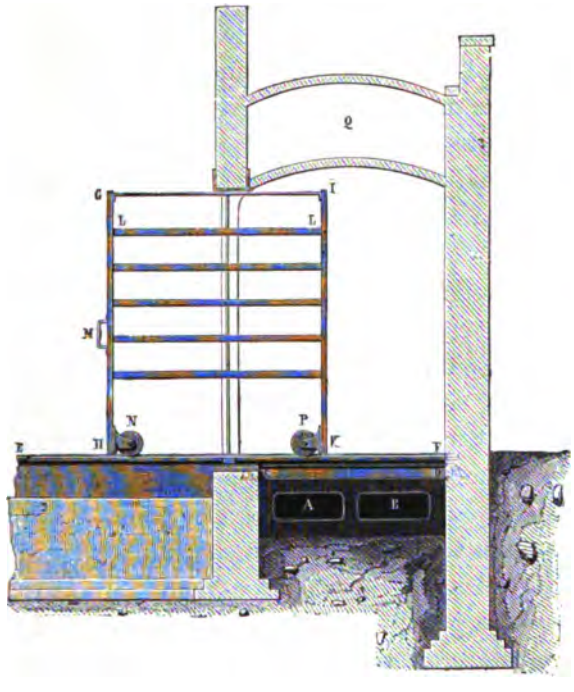


Fig. 573.

Afin de ne pas laisser tomber la température du séchoir quand on retire le linge sec et qu'on le remplace par du linge mouillé, on fait glisser le chariot du séchoir jusqu'au moment où sa face d'arrière vient s'appuyer exactement sur les rebords antérieurs de l'encadrement de la porte et ferme l'entrée de la chambre de séchage. Cette dernière ne restant pas en communication avec l'air extérieur, on évite le refroidissement du séchoir.

1002. Séchoir à eau chaude de MM. Geneste et Herscher. — Cet appareil est employé pour sécher certains produits par le rayonnement de surfaces chauffantes dont la température ne doit pas dépasser une valeur déterminée, 60° par

exemple. De plus, pour la bonne marche du séchage, il est important que la température demeure aussi régulière que possible dans les différentes parties du séchoir, pendant toute la durée des opérations.

L'eau chaude a été choisie comme fluide chauffant, mais, pour obtenir la régularité et l'égalité de température exigées pour le séchage, il fallait employer un grand volume d'eau chauffé à une température modérée et réaliser une grande vitesse de circulation dans les conduites.

Pour satisfaire à cette dernière exigence peu compatible avec la première, MM. Geneste et Herscher ont eu recours à un procédé spécial qui consiste à se servir d'une pompe mue mécaniquement pour donner au liquide une vitesse de circulation suffisante.

L'installation d'un séchoir comprend, dans son ensemble (fig. 574-575) : quatre batteries S de surfaces chauffantes à eau chaude, recevant les châssis sur lesquels on étend la matière à sécher. Elles communiquent par les tuyaux 3.3... avec un réservoir supérieur R et par les tuyaux 4.4..., pourvus de robinets de réglage, avec un bouilleur M chauffé par un serpentin à vapeur.

Le bouilleur M et le réservoir R sont reliés par une canalisation 1-2 munie d'une pompe à force centrifuge; celle-ci, actionnée mécaniquement, sert à donner au liquide en mouvement une vitesse suffisante pour permettre d'obtenir une température égale et uniforme dans toutes les parties des batteries chauffantes S. De plus il existe entre M et R une communication spéciale directe 5, utilisée en cas d'arrêt de la pompe centrifuge.

Pour la commodité du service, les batteries S de surfaces chauffantes sont séparées les unes des autres par des chemins d'accès, et comprennent chacune deux serpentins à eau dont les spires sont formées par des tuyaux à ailettes en fer. On a évité de se servir de tuyaux à ailettes en fonte, qui sont pesants et peuvent se briser sous les chocs; de plus, la longueur limitée des tuyaux en fonte oblige à faire de nombreux joints, ce qui augmente les chances de fuites; celles-ci entraveraient beaucoup d'ailleurs la marche du séchage. Le nombre des batteries S et celui

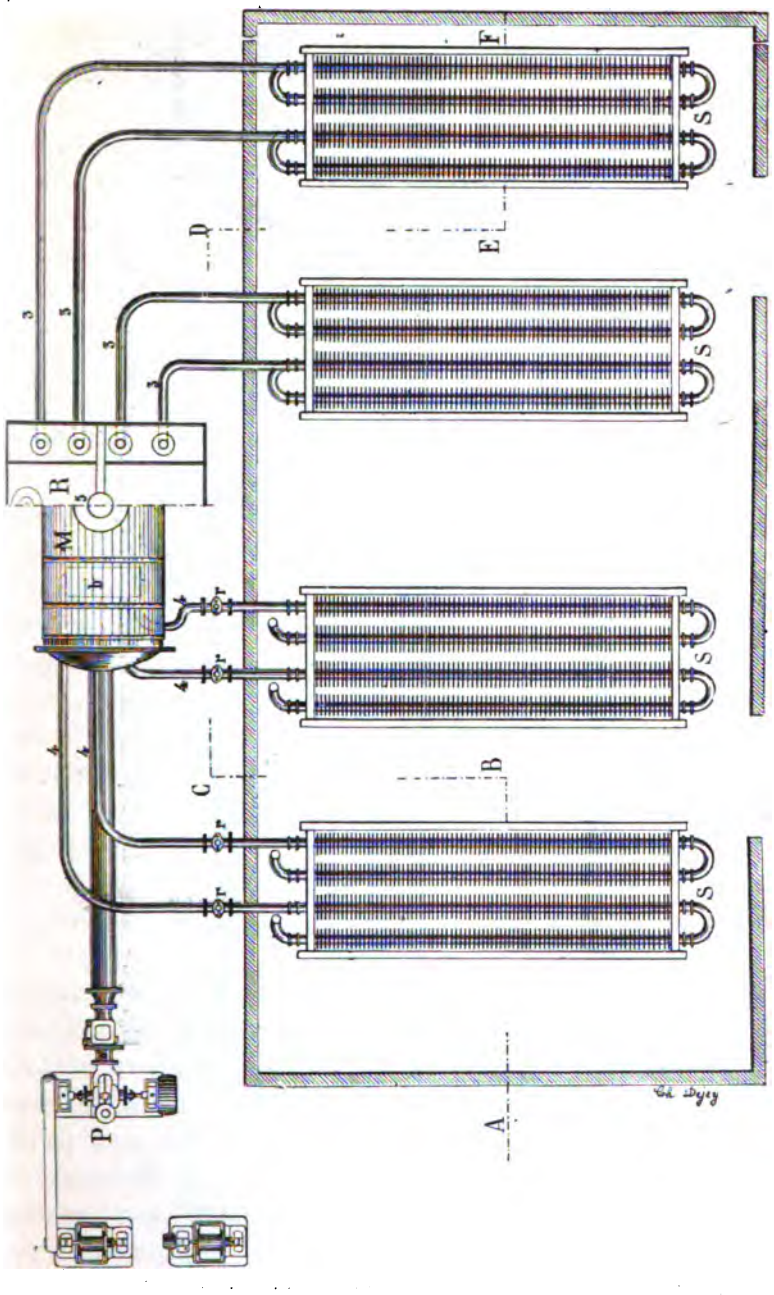


Fig. 574. — Plan.

des spires des serpentins varient avec l'importance du séchoir.

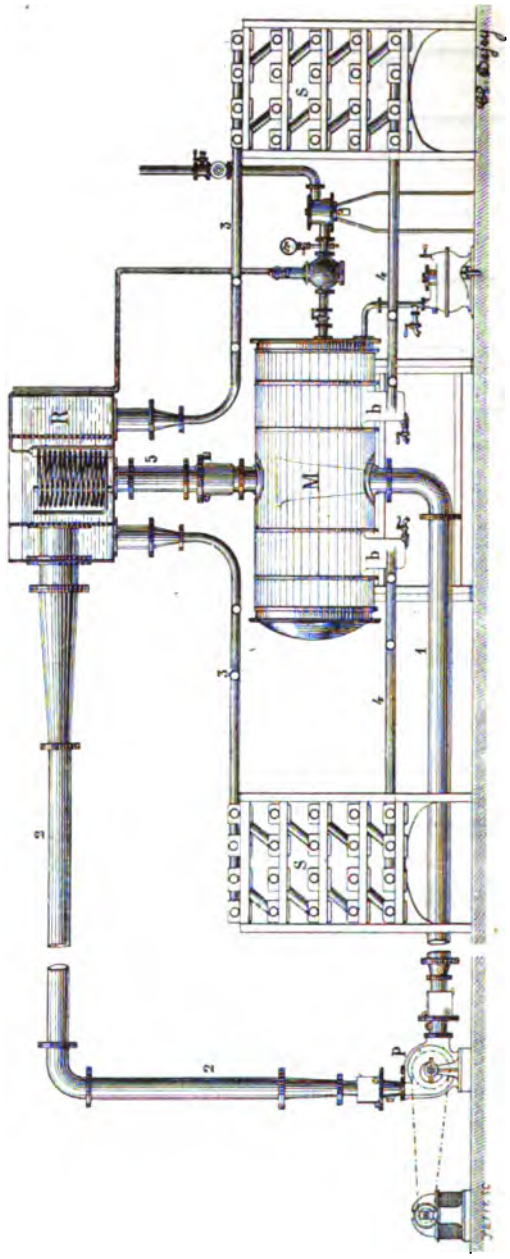


Fig. 575. — Coupe dans laquelle deux batteries de serpentines ont été supprimées.

Les tuyaux 4.4... reliant les serpentins au bouilleur M sont

groupés en deux faisceaux de quatre tubes venant, chacun de son côté, se raccorder sur un barillet *b* ou dôme renversé, ce qui permet de réduire à deux le nombre des trous à percer dans la paroi inférieure du bouilleur pour le service des huit tubes 4, 4... Ce bouilleur est formé d'un corps cylindrique en tôle et chauffé par un serpentin en cuivre dans lequel circule de la vapeur empruntée aux générateurs de l'usine.

L'eau chaude du bouilleur se rend au réservoir R par la conduite 1-2 en passant par la pompe P. Celle-ci permet d'activer la circulation de l'eau et d'obtenir dans les batteries de chauffage une vitesse d'environ un mètre par seconde. Cette vitesse est suffisante pour que la variation de température de l'eau chaude, depuis l'entrée jusqu'à la sortie des surfaces chauffantes, n'atteigne pas 1° centigrade. Dans l'appareil qui nous occupe, la dépense de force motrice est inférieure à un cheval.

Si l'on voulait réduire davantage l'écart de température constaté, on pourrait, sans modifier l'installation, augmenter suffisamment la vitesse de circulation du liquide, ce qui se traduirait par un accroissement dans la dépense de travail moteur.

Le réservoir R est divisé en trois compartiments par deux cloisons verticales en tôle perforée. Ce réservoir non seulement remplit le rôle de vase d'expansion recevant l'excédent de volume que produit la dilatation de l'eau chauffée, mais encore sert de régulateur destiné à atténuer, grâce au volume d'eau relativement grand qu'il renferme, les variations possibles de la température de l'eau sortant du bouilleur M. Un régulateur automatique de température a d'ailleurs été étudié, afin d'éviter que la température de l'eau ne dépasse jamais le degré fixé (60°); nous décrirons plus loin cet appareil (fig. 576).

Le tuyau d'aspiration 1 de la pompe prend, à la partie haute du bouilleur M, l'eau chauffée par le serpentin de vapeur et la refoule par le tuyau 2 dans le compartiment central du vase d'expansion R. Le liquide passe par les orifices des deux cloisons perforées et arrive dans les compartiments latéraux. Il descend par les tuyaux 3, 3, se rend dans les diverses surfaces chauffantes et les parcourt en se refroidissant. Les robinets placés à la sor-

tie de ces surfaces permettent d'égaliser et de régler la température dans les huit circulations. Le liquide s'écoule ensuite par les tuyaux 4, 4..., pénètre dans les barillets *b*, et rentre enfin dans le bouilleur M, où il se réchauffe avant de recommencer son parcours. Le tuyau vertical 5 réunit directement le sommet du bouilleur M et le vase d'expansion R. Cette communication auxiliaire permet de faire usage des séchoirs, pendant l'arrêt de la pompe centrifuge.

Toutefois, dans ce cas accidentel, l'eau en circulation ne peut conserver une température égale, à l'entrée et à la sortie des surfaces chauffantes; on est alors obligé ou d'utiliser pour le séchage seulement les spires supérieures des batteries ou de déplacer les matières à sécher à mesure de leur dessiccation, afin de les exposer à des températures croissant progressivement depuis le bas jusqu'au haut des batteries. La température maxima qu'il faut atteindre et qu'il convient de ne pas dépasser, ne peut alors exister que dans les tuyaux supérieurs c'est-à-dire à l'entrée des surfaces chauffantes.

Les matières à sécher sont déposées en couche mince dans des châssis ou tiroirs dont le fond est constitué par une toile spéciale à tissu lâche. Quand on veut opérer plus rapidement, on dispose la toile de manière à former des ondulations qui permettent d'augmenter dans une mesure importante les surfaces exposées à l'action de la chaleur.

L'installation réalisée par MM. Geneste et Herscher comporte plusieurs séchoirs identiques isolés les uns des autres.

Afin de ne pas multiplier le nombre des moteurs à vapeur, le transport de la force motrice aux pompes se fait par l'électricité. Une machine à vapeur est installée dans le voisinage des générateurs et actionne une machine électrique génératrice qui fournit le courant aux machines réceptrices placées dans le voisinage des pompes centrifuges des séchoirs.

Les appareils de séchage ont été établis afin de permettre d'éviter tout arrêt dans le cas d'avarie à l'une quelconque des machines électriques.

Les appareils électriques ont été préférés parce qu'ils permet-

tent de commander les pompes centrifuges commodément par courroie et avec une régularité qu'on obtiendrait difficilement d'un autre moteur; ils sont peu encombrants, moins coûteux d'achat et d'installation que les moteurs à vapeur, exigent peu de réparations et peuvent fonctionner pendant très longtemps (plusieurs années) sons demander d'autres soins que l'entretien des balais et le graissage des paliers.

Pour régler et rendre uniforme autant que possible la température dans les circulations du séchoir, on détermine par tâtonnement, une fois pour toutes, le degré d'ouverture qu'il convient de donner aux robinets de réglage des canalisations 4, 4... Cette opération étant faite, il ne reste plus qu'à agir de temps en temps sur l'admission de vapeur dans le serpentin en cuivre servant à chauffer l'eau du bouilleur M.

Cette manœuvre exige une certaine attention et il est préférable de la faire exécuter par le régulateur de température que nous avons déjà signalé.

Ce régulateur (fig. 576) se compose d'un appareil de distribution de vapeur et d'un appareil thermométrique rempli d'un liquide dont on utilise la dilatation pour faire ouvrir ou fermer l'admission de vapeur dans le serpentin du bouilleur M.

L'appareil de distribution de vapeur se compose d'une chambre intérieure dans laquelle arrive la vapeur à utiliser. Cette chambre est percée de deux orifices correspondants pouvant être fermés ou ouverts à la fois par une soupape double équilibrée, rattachée à une tige guidée. Cette tige elle-même porte deux épaulements contre lesquels vient agir la fourche qui termine l'une des extrémités d'un levier horizontal de commande traversant à joint étanche une membrane ondulée et dont la course est limitée, en haut et en bas, par deux vis de butée.

L'autre extrémité du levier a la forme d'un disque; elle vient se loger dans une fente pratiquée dans une tige verticale pourvue de deux ressorts et dont les extrémités s'engagent chacune à l'intérieur d'un guide en forme de chapeau.

Ces deux guides sont mobiles et reçoivent leur mouvement de l'appareil de dilatation; dans leur déplacement par l'intermé-

diaire des ressorts, les guides entraînent la tige verticale et par suite le levier horizontal. Celui-ci, de son côté, fait mouvoir les soupapes qui ferment et ouvrent le passage de la vapeur suivant le sens du mouvement produit.

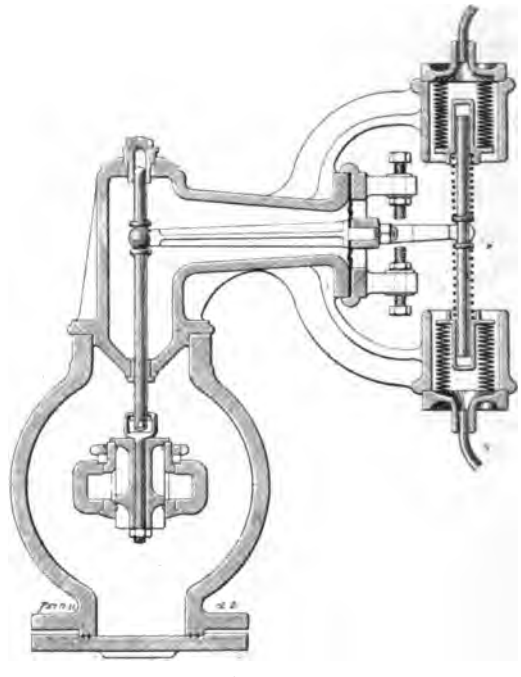


Fig. 576.

L'appareil thermométrique comprend un serpentin, un vase à parois ondulées ou soufflet et un tube servant à relier ces deux organes. Le serpentin est indéformable de surface déterminée, rempli d'un liquide dont le coefficient de dilatation est considérable ; il est installé dans le réservoir supérieur R (fig. 575) dont on veut limiter la température. Les variations de volume du liquide déterminent la déformation du soufflet qui agit pour modiffer, dans le sens convenable, le débit de vapeur. Le tube réunissant le serpentin au soufflet, pourrait fausser les résultats sous l'influence de la température de l'air ambiant.

Pour éviter cet inconvénient, on a placé un second soufflet agissant en sens contraire du premier, et on lui a adapté un

tube ayant la même longueur que la partie soumise aux influences perturbatrices. Ce second appareil est rempli du même liquide que le premier, et les actions des deux tubes de même longueur, s'opérant en sens contraire, s'annulent. Il ne reste pour agir que la dilatation du liquide du serpentin et celle-ci est seule utilisée pour faire varier la dépense de vapeur.

Il est facile de comprendre que cet appareil permet de maintenir constante, à un degré déterminé, la température d'un fluide quelconque enfermé dans une enceinte et que la sensibilité de fonctionnement dépend de la surface du serpentin, ainsi que du volume de liquide que ce dernier renferme.

1003. Séchage à vapeur. — Un procédé de séchage très employé pour les tissus consiste à faire passer la matière à sécher sur une série de cylindres creux remplis de vapeur. Ce

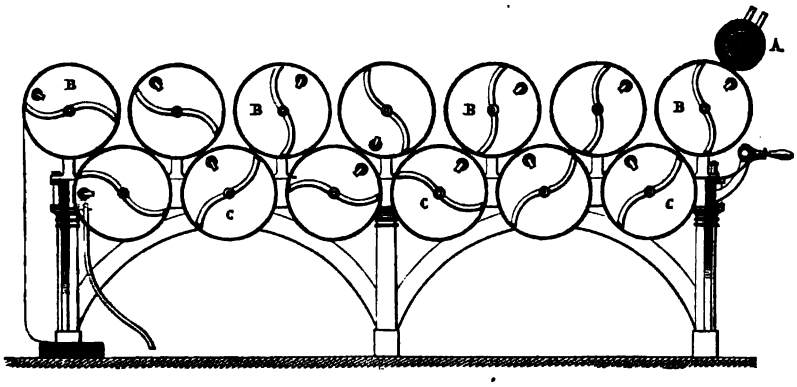


Fig. 577.

procédé permet de lisser les étoffes pendant que le séchage se produit.

L'appareil de séchage (fig. 577) se compose de deux séries superposées de cylindres creux de même diamètre, disposés en quinconce et supportés par un bâti en fonte. La vapeur arrive dans chaque cylindre par un tourillon, tandis que l'eau condensée s'écoule par le tourillon opposé; elle est puisée, pendant la rotation, au moyen d'un tube recourbé en S disposé dans le cylindre et animé du même mouvement que lui. Pour empêcher

qu'il ne se fasse dans l'appareil un vide partiel qui pourrait amener l'écrasement des cylindres, chacun de ces derniers est pourvu sur l'un de ses fonds d'un petit orifice fermé intérieurement par une petite soupape à ressort; lorsque la pression intérieure est plus faible que celle de l'extérieur, la soupape cède et la pression atmosphérique se rétablit dans le cylindre.

La pièce de tissu à sécher contourne successivement chaque cylindre et suit un chemin sinueux en passant alternativement sur la rangée supérieure et sur la rangée inférieure. En quittant le dernier cylindre, l'étoffe s'enroule autour d'un rouleau entraîné par son frottement contre ce dernier cylindre; mais l'accumulation des spires successives du tissu augmentant le diamètre extérieur du rouleau, celui-ci repose librement par ses tourillons sur deux fourches dans lesquelles il glisse à mesure que son épaisseur s'accroît.

Chaque cylindre est muni, au pourtour du fond, par lequel se fait l'entrée de la vapeur, d'un disque denté par lequel le mouvement communiqué à l'un des cylindres extrêmes est transmis de proche en proche aux autres cylindres du séchoir.

Pour tendre l'étoffe à mesure qu'elle se sèche, chaque cylindre porte, en général à partir du quatrième, une dent de moins que celui dont il reçoit le mouvement. Comme tous les cylindres ont des diamètres égaux, il s'ensuit que les vitesses vont en s'accélérant à mesure qu'on se rapproche du point où le tissu quitte l'appareil.

La machine que nous venons de décrire peut être simplifiée; dans ce but on diminue le nombre des cylindres et on fait même des appareils qui n'en n'ont qu'un). Dans ce dernier cas, on donne au cylindre un diamètre plus grand pour augmenter la durée du contact. Deux petits rouleaux placés au bas de l'appareil forcent le tissu à suivre le cylindre sur la majeure partie de son pourtour.

Les appareils de séchage de ce type sont d'un emploi très commode et sont très répandus dans l'industrie; cependant ils n'ont qu'un rendement assez faible par suite du refroidissement provenant du rayonnement des matières en traitement, du chauf-

fage de l'air ambiant, et parce que la totalité de la surface du cylindre n'est jamais recouverte par les tissus.

De nombreuses expériences ont d'ailleurs montré que le rendement diminue très vite lorsque l'épaisseur du tissu augmente. La quantité d'eau évaporée par mètre carré et par heure peut varier dans des limites très étendues, selon qu'on opère sur une couverture de laine, des chemises de coton ou de toile, des serviettes-éponges ou bien sur un drap de toile.

En Alsace, on a constaté que, dans la dessiccation de pièces de calicot par ce procédé, on pouvait arriver à évaporer $3^k,63$ d'eau par kilogramme de houille brûlée.

1004. En résumé, on voit que, dans le séchage, il y a toujours grand intérêt à opérer méthodiquement, afin d'éviter les énormes pertes de chaleur qui se produisent dans les dernières périodes de l'opération. De plus, comme nous avons vu qu'il n'est pas possible, lorsqu'on veut opérer la dessiccation à des températures de 50 ou 60° au plus, de donner à l'air affluent une température suffisante, il convient de placer des surfaces chauffantes dans les séchoirs, afin de réchauffer l'air à mesure de son refroidissement, ce qui permet d'opérer à une température initiale assez basse, de diminuer les pertes de chaleur pendant l'opération et de ne pas exposer à des températures trop élevées les produits à sécher.

CHAPITRE V

DÉSINFECTION

DÉSINFECTION.

1005. Une intéressante application de la chaleur a pris une grande importance dans ces dernières années; nous voulons parler de l'utilisation de la chaleur à la désinfection.

Les appareils, dans lesquels s'effectue cette opération, sont connus sous le nom d'étuves de désinfection.

Les grandes découvertes de M. Pasteur ainsi que les recherches d'éminents médecins hygiénistes, ont fait connaître que les maladies transmissibles et infectieuses ont, en général, pour cause l'action de micro-organismes vivants qui, en passant d'un individu malade à un individu sain, propagent la maladie et que le moyen le plus sûr de combattre la contagion, c'est de faire de la désinfection, c'est-à-dire de détruire les germes pathogènes qui propagent les maladies contagieuses. La destruction de ces germes peut être obtenue par différents procédés dont l'un, le plus énergique et le plus sûr, consiste à soumettre à l'action d'une température suffisamment élevée, pendant le temps nécessaire, les objets qu'on veut purifier. C'est Needham qui le premier, au cours de recherches sur la possibilité de la génération spontanée, a songé à utiliser la chaleur pour détruire des germes vivants.

Les conditions essentielles auxquelles doivent répondre les étuves de désinfection sont en général les suivantes :

Certitude de destruction des germes pathogènes et de leurs spores ;

Rapidité d'action, afin de pouvoir avec un matériel restreint combattre une épidémie naissante ;

Conservation sans altération des tissus et objets mis en traitement.

Pour satisfaire à ces conditions, le mode d'emploi de la chaleur est loin d'être indifférent.

Déjà, en 1701, Leeuwenhoek découvrit que certains animalcules, les rotifères, présentent, lorsqu'ils ont été préalablement desséchés, une résistance considérable à l'action destructive de la chaleur sèche. Spallanzani montra de son côté que les rotifères et d'autres animalcules reviviscibles meurent sans retour lorsque, placés dans l'eau, celle-ci est chauffée à une température de 45° C. environ. Les mêmes animalcules desséchés et chauffés à sec dans le sable résistent fort bien à une température de 80° C.

De nombreuses expériences, faites en 1860 par une commission, composée de membres de la Société de biologie, établirent que « les rotifères peuvent se ranimer après avoir séjourné quatre-vingt-douze jours dans le vide sec et subi immédiatement après une température de 100° C. pendant trente minutes ».

Ces faits permettaient de prévoir que la chaleur sèche est un mauvais agent de désinfection. On a constaté, en effet, dans les premières étuves à désinfection où l'on utilisait l'air sec et chaud, qu'il fallait, pour obtenir une destruction certaine des bactéries et de leurs spores, élever la température et prolonger la durée de son action à tel point que les objets placés dans les étuves se trouvaient souvent fort endommagés. D'ailleurs, la répartition de la température dans les étuves laissait tellement à désirer que l'on ne pouvait jamais être sûr que la désinfection fût complète. Ainsi, M. Vallin a constaté qu'un thermomètre à maxima, placé au centre d'un matelas exposé depuis 5 heures à la chaleur d'une étuve sèche à 118°, ne marque que 50°.

Une couverture de laine enroulée et exposée pendant 5 heures à cette même température est légèrement roussie à l'extérieur, tandis qu'un thermomètre placé à son intérieur n'indique que 78°.

Des expériences faites par Koch ont donné lieu à des constatations absolument analogues.

De nombreux essais avaient montré que la chaleur humide a, sur les organismes, une action destructive bien supérieure à celle de la chaleur sèche ; on songea alors à humidifier l'air chaud employé dans les étuves. A cet effet, on introduisit de la vapeur d'eau, après que la chambre de désinfection avait été préalablement chauffée par l'air chaud. Il y eut une certaine amélioration; toutefois, dans les étuves établies d'après ce principe, il faut encore au moins 4 heures, y compris le temps de séchage, pour assurer la désinfection complète d'un matelas (Schimmel).

M. Max Gruber a conclu de ses expériences sur l'étuve Thursfield, à mélange d'air chaud et de vapeur d'eau, que : « ni au point de vue de la destruction des micro-organismes, ni au point de vue de la rapidité de la pénétration de la chaleur à l'intérieur des objets à désinfecter, le mélange d'air et de vapeur d'eau ne présente de supériorité sur l'air sec chaud ».

M. le Dr Vinay, MM. Salomonsen et Levison ont également tiré de leurs essais des conclusions tout à fait désavantageuses pour ce genre d'appareils qui est aujourd'hui condamné par la très grande majorité des hygiénistes.

On essaya aussi l'action de la vapeur d'eau surchauffée, mais, la vapeur étant, sous cet état, un véritable gaz présente tous les inconvénients de l'air chaud. On eut également recours à la vapeur saturante, et les résultats furent incomparablement supérieurs à ceux qui avaient été jusqu'alors constatés.

Indépendamment, en effet, de l'uniformité rigoureuse de température que l'on peut obtenir en tous les points d'une enceinte pleine de vapeur saturante, ce fluide agit d'une manière excessivement rapide, probablement en raison de son énorme chaleur de vaporisation que le moindre abaissement de température suffit à mettre en liberté, si l'on opère à pression constante.

Quoi qu'il en soit, la vapeur saturante est aujourd'hui employée sous deux formes différentes et on distingue :

1° Les appareils à courant de vapeur saturante à 100° C.;

2° Les appareils à vapeur saturante sous pression.

Les premiers de ces appareils, assez mal accueillis dès leur début en France, ont longtemps joui en Allemagne d'une grande faveur, reposant sur des appréciations mal fondées. Mais des expériences faites dans le laboratoire du docteur Koch par un de ses élèves, M. Globig, sont venues prouver toute l'infériorité des étuves à courant de vapeur saturante à 100°.

M. Globig a en effet montré que certaines spores, desséchées sur un fil de soie, demeurent encore vivantes *après un séjour de cinq à six heures dans l'étuve de Koch.* Ces mêmes spores restent aussi vivantes et susceptibles de multiplication *après une immersion de quatre heures dans l'eau bouillante.* Elles sont tuées au bout de vingt-cinq minutes par la vapeur saturante à 115°; dix minutes suffisent à 120°.

M. Max Gruber soumit les spores du bacille du foin, desséchées sur des fils de soie, à l'action d'un courant de vapeur d'eau à 100° pendant deux heures et demie. Non seulement ces spores ne furent pas détruites, mais, ensemencées dans un liquide de culture, elles n'offrirent ni affaiblissement, ni ralentissement dans leur végétabilité.

M. Hueppe déclare également « qu'on peut, dès maintenant, considérer la marmite de Papin comme l'appareil de stérilisation de l'avenir, et qui est destiné à bref délai à prendre dans les laboratoires la place qu'occupe encore en Allemagne le poêle à vapeur fluente (à 100°) de Koch ».

Nous avons emprunté ces renseignements si intéressants au remarquable article que vient de faire paraître M. le professeur I. Straus dans les *Archives de médecine expérimentale* (mars 1890).

Toutes les constatations que nous avons reproduites ci-dessus, émanant des principaux hygiénistes des pays où les étuves à courant de vapeur ont joui pendant longtemps d'une si grande faveur, sont concluantes et montrent que les étuves à courant de vapeur à 100° doivent nécessairement céder le pas aux étuves à vapeur saturante sous pression. Il existe un certain nombre de types de ces appareils à pression : étuves à vapeur sous pression de Washington Lyon, de Leblanc, de Geneste et Herscher, etc.

De nombreuses expériences ont été faites sur les appareils de

ce genre par MM. les Drs Grancher, Gariel et A.-J. Martin et nous empruntons à l'article de M. Straus l'appréciation suivante :

L'appareil Geneste et Herscher « jouit d'un pouvoir désinfectant bien plus rapide et plus puissant que les appareils à courant de vapeur à 100°. Ces derniers nécessitent trois fois plus de temps pour désinfecter les objets de literie que le désinfecteur Geneste et Herscher; d'autre part, la terre de jardin, soumise pendant une heure au séjour dans l'étuve à vapeur courante conservait encore des germes vivants et susceptibles de végétation, tandis que ces mêmes germes étaient sûrement tués, au sein des objets les plus volumineux et poreux, après un séjour de vingt minutes dans l'étuve à vapeur sous pression à 110°-115° ».

Quoique les appareils à vapeur saturante sous pression soient les seuls dont on ait reconnu l'efficacité au triple point de vue de la désinfection, de l'économie et de la facilité d'application, nous avons cru devoir décrire sommairement quelques étuves choisies parmi les divers types d'appareils à désinfection qui ont été successivement en usage jusqu'ici.

Ces appareils peuvent se diviser en six classes principales :

Étuves à gaz ; étuves à air chaud ; étuves à air chaud et vapeur sans pression ; étuves à vapeur surchauffée sans pression ; étuves à vapeur saturante à 100° C; étuves à vapeur saturante sous pression.

Le Dr A.-J. Martin, estime avec raison que, pour comparer entre eux les effets obtenus dans les diverses étuves, il faut surtout étudier les résultats de la désinfection des matelas qui sont les objets les plus difficiles à désinfecter, en raison de leur épaisseur et de leur consistance. On a constaté en effet qu'en se servant des appareils des quatre premières classes, il faut au moins quatre heures pour purifier les matelas traités dans les étuves et que la longue durée des opérations ne pouvait que favoriser l'altération des tissus soumis à la désinfection. Afin de faciliter les opérations et d'abréger leur durée, on a essayé d'établir dans les étuves à air chaud et à vapeur sans pression, une pression de $0^k,1$ correspondant à une température de 103° C., mais ces étuves étant en général de forme rectangulaire, leurs

parois planes et minces ne peuvent sans déformation supporter une pression de 1000 kilogr. par mètre carré et, de plus, les joints de leurs portes sont difficilement étanches.

Les étuves à vapeur surchauffée n'offrent pas plus d'avantages. La vapeur étant, sous une pression donnée, portée à une température supérieure à celle qui correspond à son point de saturation, se comporte à peu près comme l'air chaud. La désinfection peut alors rester incomplète et ces étuves donnent même moins de sécurité que les précédentes.

Les étuves à courant de vapeur à 100° sont préférables aux précédentes, mais, comme le montrent les expériences que nous avons rappelées, elles sont inférieures aux étuves à vapeur sous pression. Par exemple, « il suffit d'obtenir, dans l'étuve de MM. Geneste et Herscher, la température de 106° C., ce qui est facile, pour tuer sûrement, même au sein d'un matelas, tous les microbes pathogènes éprouvés ». (Rapport officiel du Comité consultatif d'hygiène publique de France.) Cet appareil est disposé pour permettre de faire varier, à volonté, la pression de $0^k,5$ à la pression atmosphérique, ce qui facilite l'imprégnation complète des objets en quinze minutes.

1006. Étuves à gaz. — Elles sont, en général, formées d'une chambre cylindrique ou rectangulaire dans laquelle on suspend les objets à désinfecter. A la base de cette chambre sont disposées une prise d'air et plusieurs rampes à gaz munies chacune d'un petit jet d'allumage appelé *allumeur*. Ces rampes servent au chauffage de l'étuve et au sommet de celle-ci est établie une cheminée d'évacuation pourvue d'un registre.

Les opérations s'effectuent comme suit : on ouvre d'abord les robinets des petites conduites qui desservent les allumeurs et on enflamme ceux-ci. On ferme la porte de l'étuve ainsi que le registre de la cheminée, puis on ouvre les robinets des conduites qui alimentent les brûleurs, et les rampes s'allument sur toute leur longueur. On laisse la combustion s'effectuer jusqu'au moment où le thermomètre placé à l'intérieur de la chambre marque une température de 120 à 130° C. On introduit alors les matelas et les vêtements ou linges à purifier. On règle les

robinets des rampes et au besoin on en ferme quelques-uns, de façon à maintenir la température de 120°, pendant le temps nécessaire à l'épuration. Il faut cinq à six heures pour que cette température s'établisse au cœur d'un matelas; la durée du chauffage est d'environ une heure à une heure et demie pour les vêtements et linges, à moins que les paquets ne soient trop volumineux.

On lit la température sur un thermomètre et on ne laisse pas celle-ci dépasser 120° lorsqu'on épure les étoffes de laine, et 130° lorsqu'on traite des tissus de coton. Quand la température s'élève au delà de ces limites, les objets subissent ordinairement des détériorations.

Afin d'éviter les chances d'incendie pouvant résulter de la chute d'un tissu sur les brûleurs à gaz, on dispose à une certaine hauteur au-dessus des rampes un grillage arrêtant les objets qui tombent quelquefois pendant les opérations.

1007. Dans d'autres étuves, les rampes à gaz, au lieu d'être placées directement au-dessous des objets à traiter, sont disposées dans deux gaines latérales débouchant près du plafond de la chambre d'épuration (fig. 578). Des prises d'air extérieur permettent d'entretenir la combustion des rampes et les gaz chauds se rendent au sommet de l'étuve. Ils descendent ensuite progressivement et peuvent être évacués par des orifices réservés à la base de l'étuve et communiquant avec une cheminée d'appel. Toutefois, pour réduire les pertes de chaleur et par suite la dépense de gaz, on fait repasser, pendant toute la durée de la désinfection, les gaz chauds de l'étuve au conctact des rampes et on n'introduit que la quantité d'air neuf nécessaire pour entretenir la combustion.

L'opération a lieu comme dans le cas précédent: on commence par chauffer l'étuve; dès que la température de 120° est atteinte, on introduit les objets à purifier qu'on a préalablement suspendus à un châssis glissant sur des rails établis près du plafond de la chambre d'épuration et se prolongeant en dehors d'une quantité suffisante. Les portes étant refermées, on continue le chauffage en s'attachant à maintenir les températures de 120 ou 130°

selon la nature des objets. Pour empêcher que, en cas d'inattention du chauffeur, la température ne dépasse les limites fixées, ce qui pourrait amener la détérioration des objets soumis à l'épuration, on se sert de régulateurs de température permettant de faire varier automatiquement le débit du gaz, c'est-à-

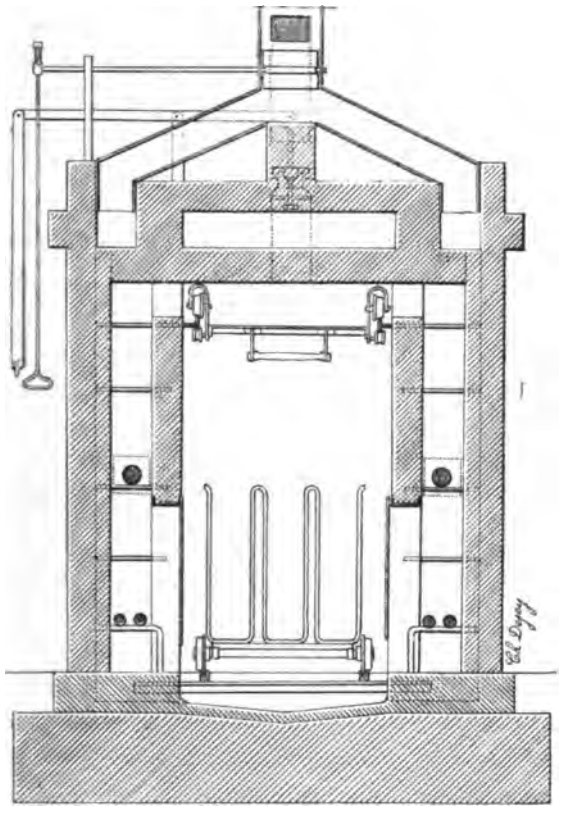


Fig. 578.

dire de modérer ou d'activer la combustion selon les besoins. Quand l'opération est terminée, on éteint les brûleurs et on évacue directement les gaz chauds par un conduit spécial muni d'une valve et mettant en communication le haut de l'étuve et la gaine d'évacuation. On retire les objets désinfectés et on peut recommencer une nouvelle opération.

Dans ce système, les gaz chauffés entrant dans l'étuve près du plafond sont toujours plus chauds que ceux qui se trouvent près du sol et il est presque impossible d'obtenir une température égale dans toute la hauteur de l'étuve. Pour obvier dans une certaine mesure à cet inconvénient, on place dans la partie haute de la chambre les tissus végétaux qui peuvent, sans altération, supporter des températures plus élevées que les tissus de laine ou de soie. Mais il faut remarquer que l'on n'est jamais sûr de ne dépasser en aucun point les températures au delà desquelles se produisent les détériorations et qu'il n'est pas rare de retirer de l'étuve des objets roussis.

1008. Étuves à air chaud. — On désigne ainsi les appareils dans lesquels l'air est chauffé au contact de batteries desservies par de la vapeur ou de l'eau chaude ou par les produits de la combustion d'un foyer.

Une étuve à air chaud (fig. 579) est ordinairement formée d'une chambre rectangulaire à double paroi en maçonnerie. Lorsqu'on veut rendre l'étuve transportable, on la construit en tôle, et l'intervalle entre les deux parois est rempli de corps mauvais conducteurs (escarbilles, pierre ponce, laine de scories, etc.). Quel que soit le mode de construction de l'étuve, les objets à désinfecter sont portés par un chariot roulant sur des rails qui se prolongent en dehors de l'étuve. L'avant et l'arrière de celle-ci sont munis chacun d'une porte en tôle que l'on maintient fermée à l'aide de vis de pression.

A la base de la chambre se trouve une forte batterie de tuyaux recevant la vapeur ou l'eau destinée à produire le chauffage. Contre les murs longitudinaux de l'étuve sont également placés des tuyaux de chauffage, formant parois chaudes. La température dans la chambre de désinfection est plus uniforme que dans l'étuve à gaz à circulation, parce que la batterie de chauffage inférieure rayonne sur les objets placés dans le bas de l'étuve; en même temps l'air qui s'échauffe au contact de cette batterie s'élève et tend à augmenter la température de l'air qui descend vers le centre de l'étuve.

Celle-ci est pourvue d'orifices d'entrée d'air et de bouches

d'évacuation, comme les étuves à gaz ; toutefois l'opération de la désinfection s'effectue, dans les appareils de ce système, plus régulièrement que dans les étuves à gaz. Le chariot mo-

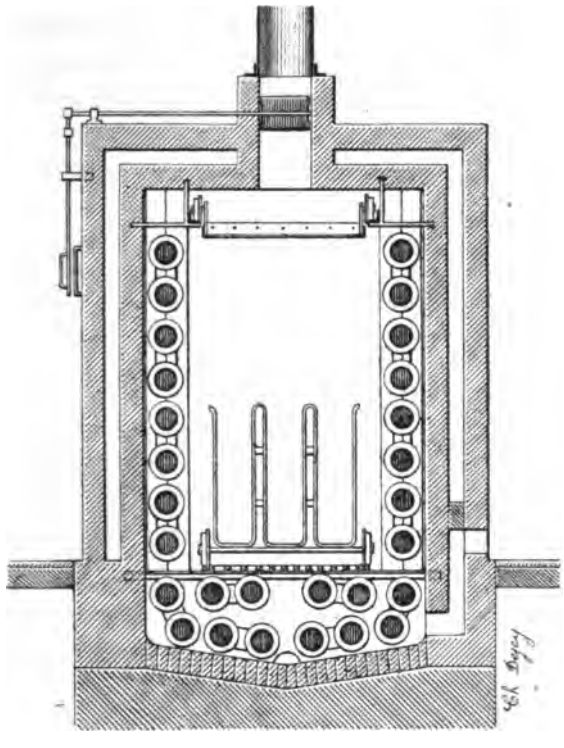


Fig. 579.

bile roule sur des rails et l'intervalle existant entre ceux-ci est garni d'un plancher perforé destiné à retenir les objets qui pourraient tomber des chariots.

1009. Étuve à air chaud et à vapeur sans pression. — Les observations faites par de nombreux expérimentateurs ont montré que la désinfection restait généralement incomplète quand les objets à purifier étaient simplement soumis à l'action de l'air chaud sec, et qu'en faisant intervenir la vapeur d'eau on obtenait des résultats plus satisfaisants.

On a alors injecté dans les étuves de la vapeur à 100° au

moyen d'un tuyau percé d'une multitude de petits orifices et disposé à la base de l'étuve, un peu en contre-bas de la batterie inférieure de chauffage.

Lorsque l'étuve et les objets qu'elle renferme ont été portés à une température de 110 à 115° C., il faut laisser refroidir à 100° et faire une injection de vapeur à la pression atmosphérique; on termine ensuite par une nouvelle exposition à la

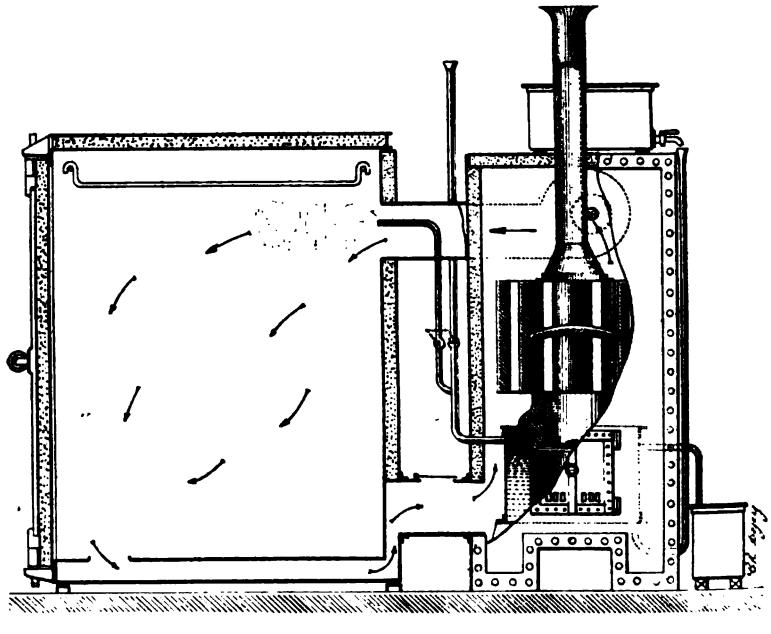


Fig. 580.

chaleur sèche à 115°. La vapeur d'eau à 100° tend à mieux pénétrer les objets que l'air chauffé à 115°, et on a constaté que certaines spores, qui résistaient à l'action de l'air sec chauffé à 115°, étaient détruites lorsqu'on faisait intervenir la vapeur à 100°. Si la vapeur sans pression était employée à une température supérieure à 100°, elle agirait comme un gaz et ne produirait pas l'effet cherché.

Lorsqu'on opère sur des matelas ou des paquets volumineux, la pénétration reste toujours lente et incertaine; on a été con-

duit à recourir à un ventilateur, mû à bras ou par un moteur, et qui met en mouvement l'air sec ou l'air humide, sous une pression assez faible, mais cependant suffisante pour produire la circulation rapide de l'air. On modifie à son gré la température et l'état hygrométrique de cet air et on le force à passer à travers les objets à épurer, linges, vêtements ou matelas.

L'appareil employé (fig. 580) se compose d'une étuve ordinaire à double paroi garnie de matière isolante, et d'un calorifère à air chaud. Les parois du foyer sont formées par un bouilleur à section annulaire destiné à fournir la vapeur nécessaire à l'opération. L'étuve et la chambre d'air du calorifère communiquent par deux conduits, l'un, placé vers le haut des appareils et sur lequel est installé le ventilateur, permet de faire arriver l'air chaud dans l'étuve et même de l'amener au centre des matelas à traiter; l'autre, disposé à la base, sert à ramener au calorifère l'air qui a traversé l'étuve. La vapeur nécessaire à l'humidification, pendant la seconde période de l'épuration, est injectée dans le conduit d'air chaud par un tuyau branché sur un autre qui débouche à l'air libre. Ces deux tuyaux sont munis chacun d'un robinet et les clefs de fermeture sont solidaires et disposées à 90° l'une de l'autre, de sorte que, lorsqu'on ouvre le robinet établissant la communication avec l'étuve, on ferme celui de l'échappement direct, et inversement. Avant d'effectuer l'injection de vapeur, il faut avoir soin de ramener à 100° la température de l'étuve, ce qui peut se faire simplement en évacuant une certaine quantité d'air chaud qu'on remplace par de l'air neuf pris à l'extérieur.

1010. Étuve à vapeur surchauffée de Dobroslavine. — Pour obtenir une température supérieure à 100° C. avec de la vapeur sans pression, on a établi des étuves à vapeur surchauffée. Celle que nous représentons (fig. 581) comprend une chambre d'épuration cylindrique placée à l'intérieur d'une chaudière également cylindrique, disposée concentriquement. Le vide entre l'étuve proprement dite et la chaudière est rempli d'une dissolution concentrée de sel marin, dont le point d'ébullition est 108° C. environ.

La chaudière est chauffée par un foyer inférieur muni de

pieds supportant l'ensemble de l'appareil. Les produits de la combustion, avant de se rendre à la cheminée circulent dans un carneau en spirale établi sous le fond de la chaudière.

La vapeur, destinée à l'épuration des objets, est amenée au contact de ceux-ci par un tuyau qui vient du sommet de la chaudière, plonge dans la dissolution saline chauffée à 108° et débouche au bas de la chambre d'épuration. Cette vapeur se surchauffe dans son parcours à travers le tube, vient ensuite circuler au contact des objets à épurer déposés dans l'étuve et s'échappe enfin dans l'atmosphère.

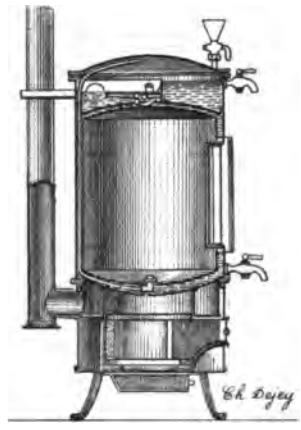


Fig. 581.

L'alimentation d'eau est réglée par une caisse à flotteur disposée dans la chaudière même. On obtient dans l'étuve une température pouvant s'élever de 105° à 107°. Le service se fait par une porte à fermeture hermétique permettant l'introduction, dans l'étuve, des objets à épurer et leur enlèvement lorsque l'opération est achevée.

1011. Étuve à vapeur à la pression atmosphérique (100° C.) de Rietschel et Henneberg. — Cette étuve (fig. 582) est établie d'après le type primitivement étudié par Robert Koch. Elle se compose d'un cylindre vertical, en tôle galvanisée, à fonds plats, entouré de matières isolantes et mobile autour de deux tourillons creux opposés, fixés à mi-hauteur de la calandre et portés par deux supports en fonte. L'un des tourillons communique avec un tuyau d'échappement ouvert à l'air libre, l'autre avec un tuyau partant du sommet d'une chaudière en fonte et servant à amener dans l'étuve de la vapeur à 100° C.

La chaudière, placée dans un fourneau en maçonnerie sur lequel sont fixés les supports de l'étuve, est chauffée à feu nu. Elle porte un niveau d'eau et un tube d'alimentation surmonté d'un entonnoir dans lequel on verse l'eau nécessaire au service de la chaudière.

L'eau condensée sortant de l'étuve redescend dans l'entonnoir par un petit tuyau spécial branché à la base du tuyau d'échappement.

Lorsqu'on veut se servir de l'étuve, on amène le cylindre dans la position horizontale, on ouvre le couvercle, on introduit la

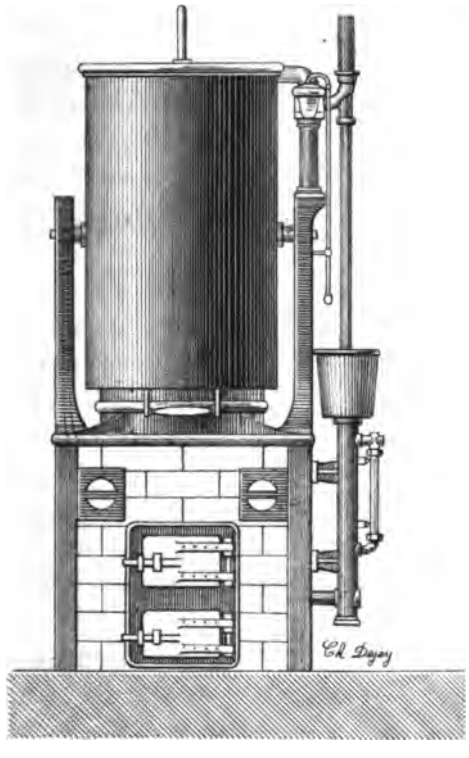


Fig. 582.

cage dans laquelle sont placés les objets à épurer, on referme et on redresse le cylindre. On fait passer la vapeur pendant un certain temps, et lorsque l'opération est terminée, on retire les objets qu'il faut ensuite soumettre au séchage.

1012. Étuve à vapeur à 100° de van Overbeek. — La chambre de désinfectien est métallique, à double paroi et garnie d'une enveloppe isolante. L'intervalle entre les parois forme la chaudière de l'appareil (fig. 583). On met de l'eau dans la chau-

dière jusqu'à mi-hauteur de la chambre intérieure et on chauffe au moyen de rampes à gaz; certaines étuves sont pourvues d'un foyer à combustible ordinaire. La vapeur produite par le chauffage entre dans la chambre d'épuration par le haut, et l'air de celle-ci s'évacue par le bas. Lorsque l'appareil est chaud, on ouvre la porte de l'étuve, on introduit les objets à désinfecter et on referme le plus rapidement possible. La vapeur afflue par le haut de l'étuve, expulse l'air rentré, et les objets sont alors soumis à l'action de la vapeur pendant un temps plus ou moins long suivant leur nature et leur volume. Enfin on ouvre la porte de l'étuve, on sort les objets et on peut recommencer une nouvelle opération.

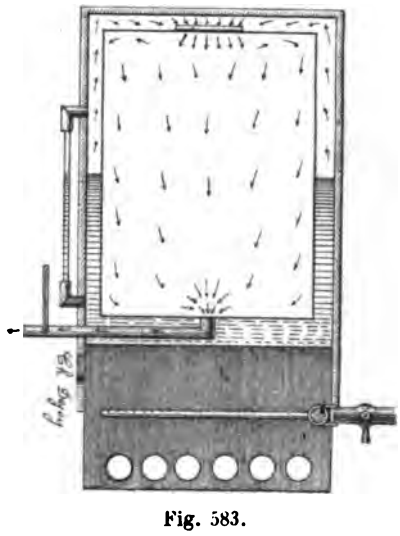


Fig. 583.

Dans ce système, comme dans le précédent, les corps sortant de l'étuve sont mouillés, il faut les sécher avant de les emmagasiner.

1013. Étuve à vapeur sous pression de W. Lyon. — Cet appareil (fig. 584) est formé d'un cylindre métallique allongé, pourvu d'une enveloppe de vapeur et destiné à recevoir les objets à purifier. Ce cylindre, ouvert à ses extrémités, peut être fermé au moyen de deux portes ou fonds bombés, montés sur deux fers à T terminés par des tiges filetées sur lesquelles on visse les écrous destinés à effectuer le serrage et à assurer l'hermétiquité des joints. Le local recevant l'étuve de désinfection est partagé en deux compartiments par une cloison transversale qui coupe extérieurement l'étuve. Dans l'un sont déposés les objets à désinfecter, et l'autre reçoit les objets purifiés. C'est seulement par l'intérieur de l'étuve que s'effectue le passage d'un compartiment à l'autre. Les objets sont placés sur un chariot, introduits dans

l'étuve et soumis à l'action de la vapeur saturée à la pression de 2 atmosphères, correspondant à une température de 121° C.

Avec ce système la durée de l'opération est moindre qu'avec

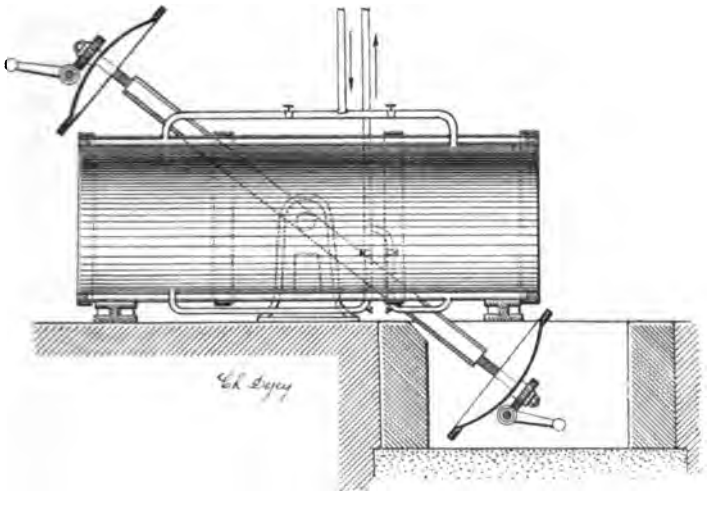


Fig. 584.

les appareils précédents; la désinfection dans toute la masse est mieux assurée, en raison de ce que la vapeur humide en pression fait pénétrer rapidement et avec certitude la chaleur au centre des objets les plus épais comme les matelas, lits de plume, etc.

1014. Étuve à vapeur sous pression de Geneste et Herscher. — Il a été reconnu que la vapeur saturante à la température de 108° C. détruit sûrement tous les microbes pathogènes exposés à son action pendant un temps très court (moins d'un quart d'heure). Il a été également observé que la vapeur humide à cette température n'altérait pas d'une façon appréciable les objets soumis à l'épuration, même après plusieurs traitements successifs.

Dès que ces faits furent établis avec précision par les travaux des médecins et des hygiénistes, MM. Geneste et Herscher construisirent une étuve à désinfection dans laquelle on fait agir la vapeur saturante sous pression à la température de 108 à 109° C. On peut, au besoin, atteindre une température de 115°

ou même plus encore; mais il est rarement utile de soumettre les objets à ces dernières températures.

L'étuve (fig. 585) est constituée par un corps cylindrique, horizontal, en tôle, à simple paroi et dont les extrémités sont munies d'une cornière dressée formant collerette extérieure. Les fonds du cylindre sont emboutis, mobiles autour d'un axe et servent de portes; l'une, située à l'avant, permet l'introduction d'un chariot roulant sur rails et sur lequel on dépose les objets à traiter; l'autre, placée à l'arrière, livre passage à ce même chariot, après que l'épuration est terminée. Le bord extérieur des portes est plat et vient s'appliquer contre la cornière d'extrémité de l'étuve, ce qui permet, par l'interposition d'une garniture, d'obtenir un joint hermétique. Le serrage se fait au moyen de boulons articulés, munis d'écrous à oreilles et qui viennent s'appliquer dans les échancrures extérieures des collerettes.

L'étuve est recouverte d'une enveloppe isolante extérieure; elle renferme deux batteries de surfaces chauffantes, l'une à sa base, l'autre à son sommet, lesquelles reçoivent de la vapeur par une prise spéciale; elle est munie d'une voie ferrée avec prolongement extérieur à l'avant et à l'arrière pour la manœuvre du chariot. Le prolongement d'avant est seul représenté sur la figure 585.

L'appareil est complété par une tuyauterie de vapeur avec robinets, manomètres et soupapes de sûreté.

Lorsqu'on ne dispose pas de vapeur dans l'établissement où l'étuve est placée, on installe une petite chaudière à vapeur pourvue d'une tuyauterie de raccordement avec l'étuve.

Pour mettre l'étuve en service, on envoie de la vapeur dans les surfaces chauffantes, afin d'assurer le chauffage des parois pendant l'opération et d'éviter les condensations. Dès que l'étuve est chaude, on ouvre la porte d'avant, on fait entrer le chariot sur lequel on a préalablement placé les objets à épurer. Lorsque la porte est refermée, on introduit la vapeur à la partie supérieure de la chambre, on évacue par un tuyau de purge l'air que renferme celle-ci. Lorsque la vapeur sort par ce tuyau, on ferme l'orifice d'évacuation et on laisse monter la pression

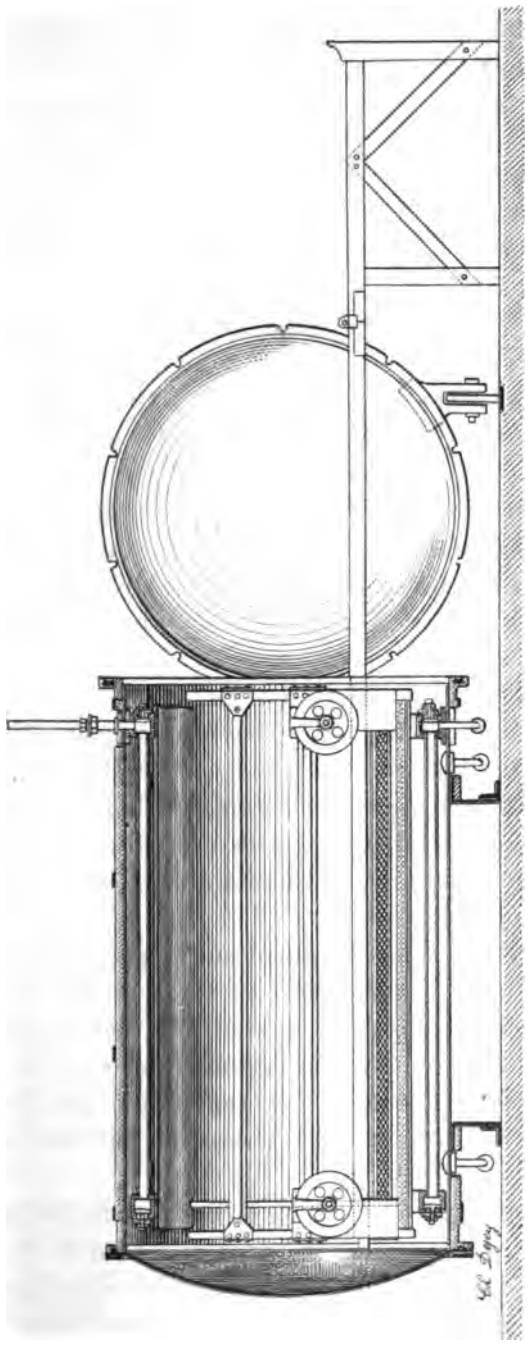


Fig. 585. — Étuve à vapeur sous pression de MM. Geneste et Herscher.

jusqu'à $0^{k},5$ environ, on obtient ainsi une température voisine de 108° à 109°, reconnue suffisante pour assurer la désinfection. Au bout de 15 minutes l'opération est complète. On peut constater facilement, au moyen de thermomètres à maxima, les uns enfoncés au centre des matelas à épurer, les autres placés en divers points de l'étuve, que la température s'établit régulièrement partout et que la chaleur a pénétré au cœur même des objets traités.

Les pesées successives faites, avant et après l'épuration, ont montré qu'un matelas pesant 13 kilogr., absorbait environ 600 grammes d'eau pendant l'opération. On constate que le matelas est humide, mais en réalité n'est pas mouillé. Cependant, on ne pourrait le mettre en magasin dans cet état et il faut le sécher avant de le sortir de l'étuve. Pour cela, on ferme le robinet d'introduction de vapeur, on ouvre le tuyau d'échappement et, par une tubulure spéciale, on laisse entrer l'air dans l'étuve. Cet air s'échauffe au contact des batteries de surfaces chauffantes qui restent toujours alimentées de vapeur, se charge d'humidité et est évacué à l'extérieur.

L'opération du séchage exige environ un quart d'heure.

1015. Dans la teinturerie, on se sert des étuves à vapeur sous pression pour fixer sur des écheveaux de fil ou sur des tissus les matières colorantes dissoutes dans une substance albuminoïde. Sous l'action de la vapeur, l'albumine se coagule et on obtient l'impression proprement dite.

M. le Dr Vinay, dans son important rapport sur la valeur pratique des étuves à désinfection, signale qu'il faut tenir compte de cette propriété lorsqu'on soumet à la désinfection par l'air chaud ou la vapeur les tissus imprégnés de sang, de pus infectieux, etc. Sous l'action de la vapeur ces matières albuminoïdes donneraient lieu à des taches fort difficiles à faire disparaître.

Pour éviter la production des taches, il suffit de tremper les objets, avant la désinfection, dans une solution très étendue de permanganate de potasse. Ce sel agit lui-même comme désinfectant et décolorant, il n'altère pas les tissus, mais laisse une

légère teinte qu'on peut faire disparaître par l'action d'une solution très étendue d'acide sulfureux.

Le lavage ordinaire à l'eau naturelle permettrait bien d'éviter les taches, mais on ne doit pas, autant que possible, recourir à ce procédé, qui a l'inconvénient de contaminer les eaux et d'exposer à la contagion le personnel chargé de ce travail.

1016. Stations de désinfection. — Plusieurs villes possèdent actuellement des établissements dits stations de désinfection, où l'on pratique la désinfection des objets contaminés appartenant aux particuliers. Ces établissements sont tout à fait isolés, comme à Nottingham, Berlin, Leipzig, etc., ou ils dépendent d'un autre établissement d'assistance, tel qu'un hôpital (Marseille, Montpellier, Grenoble, Nice, etc.), ou un asile de nuit (Paris, rue du Château-des-Rentiers actuellement, et bientôt aussi rue des Récollets et rue de Chaligny).

Le modèle presque partout adopté est celui que la ville de Berlin a édifié il y a trois ans; il n'a subi que des modifications de détail dans les diverses applications qui en ont été faites depuis cette époque. En France, les étuves à désinfection par la vapeur sous pression, sont exclusivement employées dans les stations de désinfection.

Une station comprend deux parties nettement séparées, l'une recevant les objets à purifier, l'autre les objets épurés. Ces deux parties ne communiquent entre elles que par l'intérieur des étuves. La transmission des ordres pour le service s'effectue par des sonneries.

A Berlin, la désinfection est obligatoire dans tous les cas d'affections transmissibles tels que choléra, fièvre typhoïde, variole, diphthérie, fièvre puerpérale, etc. Les objets à désinfecter sont mis dans des sacs en toile et placés dans une voiture spéciale qui les amène à la station de désinfection dans la section des objets à épurer. A leur arrivée ces objets sont déposés sur un chariot spécial que l'on introduit ensuite dans l'étuve, où on le laisse séjourner pendant un temps plus ou moins long.

Parmi les autres établissements ouverts au public sous certaines formalités à remplir, nous signalerons les Monts-de-Piété.

A Paris, deux d'entre eux sont pourvus d'étuves de désinfection dans lesquelles on fait passer tous les matelas, lits de plume, oreillers, etc., avant de les ranger dans les magasins.

L'opération s'effectue dans des étuves à vapeur sous pression. et la durée du traitement pour les objets les plus volumineux ne dépasse pas une demi-heure, y compris le temps nécessaire au séchage.

L'un des résultats de l'emploi des étuves dans les dépôts du Mont-de-Piété a été de faire disparaître la vermine qui infestait les magasins de cette Administration.

1017. Étuves locomobiles. — Les appareils de désinfection dont nous venons de nous occuper sont généralement établis à demeure, et cependant on conçoit qu'il y ait avantage, dans nombre de cas, à pratiquer, en temps d'épidémie, la désinfection par la vapeur sous pression le plus près possible du local contaminé. On a donc été conduit à construire des étuves transportables. Cette solution est d'autant plus indiquée que la maison où se trouvent les objets à purifier est plus éloignée d'un centre habité, où l'on pourrait avoir établi une étuve fixe.

C'est ainsi qu'au cours de l'épidémie de suette miliaire qui a sévi dans quelques départements du centre de la France il y a trois ans, le gouvernement, à l'instigation de M. le professeur Brouardel, président du Comité consultatif d'hygiène de France, s'est préoccupé des dangers que faisait courir à la santé publique l'absence d'appareils de désinfection dans les villages, hameaux, fermes isolées où se montrait la maladie. Comme on ne pouvait songer à détruire par le feu tous les vêtements, linges, objets de literie, matelas, etc., on a voulu recourir à la vapeur sous pression pour purifier les objets contaminés.

MM. Geneste et Herscher construisirent alors un type d'étuve locomobile (fig. 586) dont la chambre d'épuration est formée d'un cylindre en tôle, fermé à l'avant par un fond embouti fixe et à l'arrière par une porte à fermeture hermétique. Le corps cylindrique est monté sur un châssis à quatre roues, recevant une chaudière à vapeur à vaporisation rapide. En avant se trouvent une pompe destinée à l'alimentation de la chaudière et un

siège dont le coffre sert de magasin de combustible, de caisse à outils, etc.

L'appareil fonctionnant ordinairement en plein air, l'étuve et la chaudière ont été recouvertes d'une enveloppe isolante en bois dans le but de réduire les pertes de chaleur par les parois.

L'étuve locomobile présente intérieurement les dispositions

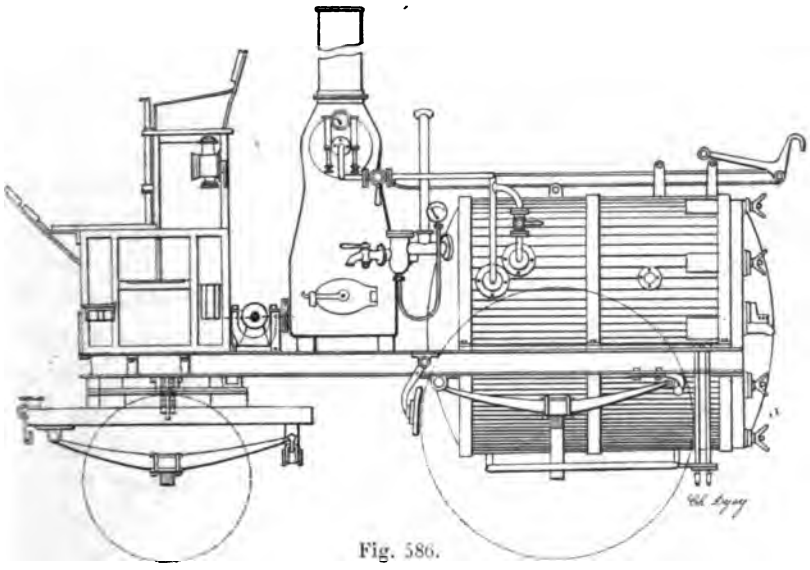


Fig. 586.

principales de l'étuve fixe, savoir : batteries de chauffage, chariot, rails, etc. La voie extérieure est remplacée par un fer à I roulant entre des galets et pourvu d'un crochet qui permet de saisir l'extrémité du chariot et de la maintenir pendant la manœuvre. Les opérations d'épuration s'effectuent comme dans les étuves fixes.

1018. Étuves de bord et chalands de désinfection. — Afin de prémunir la France contre les maladies dites pestilentielles exotiques, le choléra, la fièvre jaune, la peste, etc., mais aussi afin de diminuer le plus possible les entraves qu'on est alors obligé de faire subir au commerce international, M. le Dr Proust, inspecteur général des services sanitaires, a depuis six ans appelé l'attention sur les avantages de la présence

à bord et dans les lazarets, d'étuves à vapeur sous pression. Lorsqu'un navire est muni d'un de ces appareils et que la désinfection y a été opérée en cours de traversée, la Santé l'admet généralement aujourd'hui en libre pratique dans les ports français ; sinon il doit subir la désinfection au lazaret, et là encore les étuves à désinfection par la vapeur sous pression, diminuent considérablement la durée des quarantaines.

Les étuves de bord, à vapeur sous pression, sont d'un type spécial ; leurs dimensions sont plus restreintes et elles présentent des dispositions qui en rendent l'aménagement facile sur les navires.

Dans les ports qui n'ont pas de lazarets, lorsqu'un navire suspect se présente, l'administration sanitaire maritime doit l'envoyer au lazaret le plus voisin. On a pensé que dans la plupart des cas, il y aurait avantage et économie à pratiquer la désinfection à proximité de ce navire, et dans ce but on a été amené à construire des chalands de désinfection. Lorsqu'il y a lieu un chaland est amené près du navire dont la cargaison doit être soumise à la désinfection. Ce chaland est surmonté d'un *roof* dans lequel sont installés les appareils d'épuration ; le roof est divisé par une cloison, en deux parties, l'une recevant les objets à épurer, l'autre les objets purifiés. Une petite chaudière fournit la vapeur nécessaire aux opérations.

1019. Désinfection des caisses à biscuits. — On a employé les étuves à vapeur sous pression pour détruire les insectes qui séjournent dans les fentes des caisses à biscuits servant à transporter aux colonies les vivres des troupes. Des expériences ont montré qu'en six minutes, les insectes, les larves et les œufs étaient détruits par la vapeur sous pression à 110° C. On fait passer les caisses dans une étuve à vapeur sous pression, garnie de batteries de chauffage, afin d'éviter le mouillage des parois des caisses. La vapeur d'eau qui a pu pénétrer dans le bois s'évapore à l'air libre, et les caisses sont parfaitement sèches lorsqu'elles sont refroidies.

1020. Désinfection des wagons. — Pour la désinfection des wagons à bestiaux, du matériel des écuries, étables, abat-

toirs, marchés aux bestiaux, etc., qu'on ne peut introduire dans les étuves, il a fallu recourir à des procédés particuliers. On sait, en effet, que c'est par suite de la contamination de ces objets que les épizooties se développent.

La projection de la vapeur d'eau sous pression n'a pas donné de résultats bien satisfaisants ; cette vapeur, en se détendant, perd en effet très vite sa température. On a essayé de surchauffer

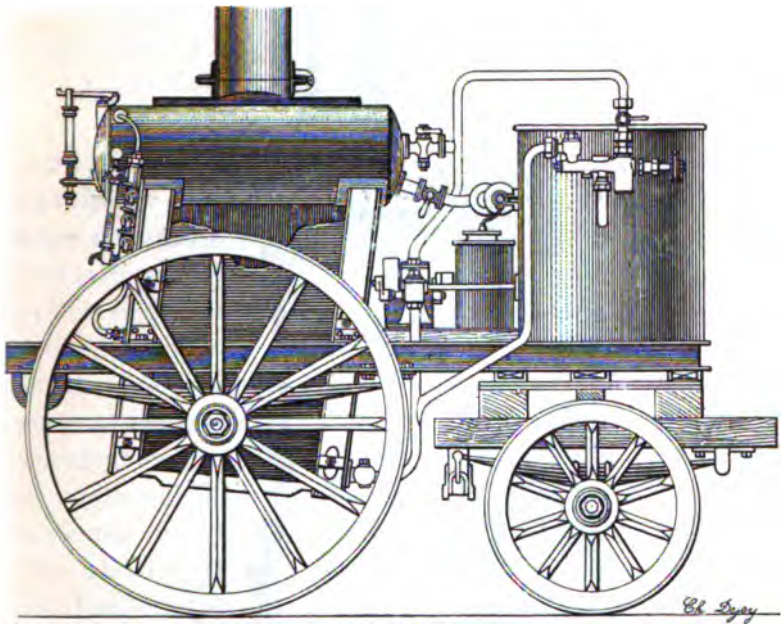


Fig. 587.

préalablement la vapeur, mais la conduite de l'opération présente beaucoup de difficultés.

MM. Geneste et Herscher ont établi un appareil à l'aide duquel on lance un mélange d'eau chaude prise à la température de 175 à 180° et de liquide antiseptique (chlorure de zinc, acide crésylique, etc.).

L'appareil (fig. 587) est locomobile, il comprend une chaudière à vaporisation rapide, fixée sur un train de voiture à quatre roues, lequel porte également un réservoir d'eau et un récipient

contenant la solution antiseptique, qui peut être chauffée au besoin.

Afin d'atteindre facilement toute la surface des objets à purifier, on se sert d'un long tuyau flexible dont l'extrémité est pourvue d'un petit ajutage par lequel sort le jet de liquide chaud servant à la désinfection.

L'eau du générateur, soumise à une pression de 8 à 10 kilo-

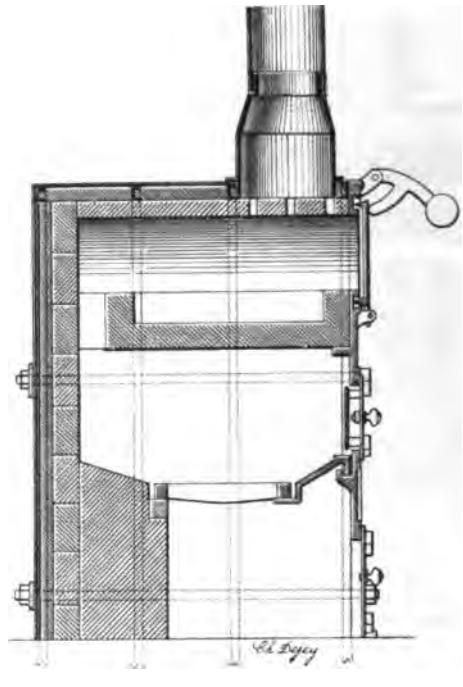


Fig. 588.

grammes, et le liquide antiseptique passent dans un éjecteur; le mélange est violemment projeté contre les objets à désinfecter et le liquide peut ainsi pénétrer dans leurs fissures.

L'appareil de désinfection de MM. Geneste et Herscher est facilement transportable, il peut être traîné par trois hommes, c'est-à-dire par le personnel chargé des opérations. On a pu, avec cet appareil et trois hommes, exécuter en quinze jours un travail que ne pouvaient faire six hommes en deux mois. Ce moyen

d'épuration est non seulement très énergique, mais encore facile à employer.

M. le Dr Redard, médecin en chef des chemins de fer de l'État, a tenté d'employer la vapeur surchauffée à la désinfection des parois des wagons. Il se sert, à cet effet, de la vapeur fournie par une chaudière de locomotive. Cette vapeur passe dans un appareil surchauffeur, desservi par un foyer spécial, et est projetée au moyen d'une lance montée à l'extrémité d'un tuyau flexible partant du surchauffeur. L'extrémité de la lance est promenée à faible distance de la paroi à purifier et le jet de vapeur doit détruire les organismes.

1021. Appareil pour l'incinération des objets de pansement et des rebuts provenant du nettoyage des salles de malades. — La plupart des administrations hospitalières se préoccupent avec juste raison des dangers qui peuvent résulter de la dissémination des poussières et des détritus provenant des salles de malades; elles ont été amenées à réaliser la combustion de tous les rebuts venant des hôpitaux. Ces rebuts sont généralement sans valeur, et, lorsqu'il s'agit d'objets qui pourraient être utilisés dans l'industrie, le traitement à leur faire subir donnerait lieu à une dépense qui ne pourrait être compensée par leur prix de vente; on préfère donc les soumettre à l'incinération. On se trouve ainsi débarrassé de tous les rebuts sans charger inutilement le service des étuves à désinfection.

L'appareil (fig. 588) construit par MM. Geneste et Herscher se compose d'un foyer à garniture réfractaire, dans lequel on brûle de préférence des combustibles à longue flamme. Au-dessus du foyer se trouve une cuvette en terre réfractaire qui reçoit les détritus à brûler; elle est contournée par les produits de la combustion et se trouve complètement plongée dans la flamme.

Au-dessus de cette cuvette, se trouve une voûte en matériaux réfractaires et percée d'un grand nombre de petits orifices dans la partie qui correspond au tuyau de fumée. Cette disposition a pour but d'éviter l'entraînement par la flamme des fragments d'ouate ou de chiffons enflammés.

La façade de l'appareil est en fonte et munie de trois portes superposées ; les portes inférieures sont celles du cendrier et du foyer, et la porte supérieure sert à l'introduction des détritus dans la cuvette. Une garniture en tissu d'amiante et un levier à contrepoids sont destinés à assurer l'herméticité du joint de cette porte. L'appareil complet est enveloppé dans une garniture métallique, ce qui permet de réduire autant que possible ses dimensions et d'avoir la certitude d'une complète étanchéité.

MM. Geneste et Herscher ont construit en outre des appareils dans lesquelles la chaleur est utilisée pour stériliser les instruments de chirurgie, les linges de pansement, les crachoirs des phtisiques, etc. Nous ne parlerons pas de ces appareils intéressants à plus d'un titre, mais dont la description nous entraînerait hors des limites du cadre de cet ouvrage.

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE VI

CHAUFFAGE DES GAZ, DES LIQUIDES ET DES SOLIDES

---

§ Ier

CHAUFFAGE DES GAZ.

1022. Le chauffage de l'air et, en général, des gaz peut se faire de plusieurs manières. Dans certains cas, on opère simplement le mélange direct de l'air avec les gaz chauds provenant d'un foyer; mais, le plus souvent, ce mélange ne peut être effectué et il faut recourir à d'autres moyens qui permettent de maintenir séparés le fluide chaud et le fluide à chauffer.

CHAUFFAGE PAR MÉLANGE.

1023. Le chauffage de l'air par mélange avec les gaz de la combustion, quand il peut être pratiqué, est le mode le plus simple qu'on puisse employer. Il permet à la fois une grande simplification dans les appareils et une bonne utilisation du combustible.

C'est ainsi que, pour le chauffage de l'air dans les cheminées d'appel servant à la ventilation des mines ou des lieux habités, on peut, sans inconvénient, mélanger l'air vicié avec les gaz

chauds issus d'un foyer, le tout se trouvant ensuite rejeté directement dans l'atmosphère.

Pour obtenir ce mélange, on dispose fréquemment l'installation de la manière suivante : on établit à la base même de la cheminée d'appel (fig. 589) un foyer dont la grille laisse autour d'elle un grand intervalle libre.

Fig. 589.

Une fraction de l'air vicié appelé est employée à brûler le combustible déposé sur la grille, mais la plus grande partie du fluide passe dans l'espace vide autour de la grille et se mélange au-dessus du foyer avec les gaz chauds de la combustion.

La température du mélange dépend du poids de combustible brûlé par rapport à la quantité d'air qui passe dans la cheminée.

Le poids de combustible à brûler, pour élever d'un certain nombre de degrés la température de l'air évacué, peut se calculer facilement.

Soient : s la surface de la grille, p le poids de combustible brûlé par mètre carré et N sa puissance calorifique ; soient, de même : A le poids d'air appelé par kilogramme de combustible, C la chaleur spécifique des gaz après la combustion et θ leur température initiale ; après le mélange, la température étant t, on a, en désignant par m la fraction utilisée de combustible,

$$mpsN = ps(A+1)C(t-\theta)$$

d'où l'on tire

$$t = \frac{mN}{(A+1)C} + \theta. \qquad (1)$$

Dans ce mode de chauffage immédiat, il y a très peu de chaleur perdue.

La perte résulte presque uniquement d'une combustion incomplète et un peu de la transmission à travers les parois.

De l'équation (1) on tire

$$A+1=\frac{mN}{C(t-\theta)}$$

Si on prend $m=0,90$, $N=8000$, $C=0,24$ et $t-\theta=20^\circ$, on trouve

$$A+1=1500 \text{ kilogr.}$$

c'est-à-dire que, dans ces conditions, un kilogramme de houille peut appeler environ 1500 kilogrammes ou 1154 mètres cubes d'air.

On peut compter ordinairement sur un appel de 1000 mètres cubes par kilogramme de houille brûlé. On voit donc que l'emploi de ce mode d'appel est assez coûteux.

CHAUFFAGE PAR CONVECTION.

1024. Le chauffage des gaz, par leur mélange avec les produits de la combustion d'un foyer, ne peut être réalisé que dans des cas exceptionnels. Le plus souvent, on est obligé de maintenir les deux fluides séparés, et le chauffage s'opère comme suit : On fait circuler dans des appareils spéciaux les gaz chauds ou, en général, un fluide chaud au contact de corps solides (treillis métalliques, briques, etc.), présentant un très grand développement de surfaces ; puis, quand ces corps solides sont portés à une température suffisante, on cesse de faire arriver le fluide chaud et, par le chemin inverse, on fait passer au contact des solides chauffés le fluide dont on veut élever la température. On échauffe ainsi et on refroidit successivement, par convection alternative, un ensemble de corps qui servent d'intermédiaires pour transmettre la chaleur d'un fluide à un autre. Ces appareils sont employés, en général, à utiliser des chaleurs perdues et sont désignés dans l'industrie sous le nom d'*accumulateurs*.

Ce procédé n'est pas non plus toujours applicable, et souvent le chauffage s'opère par transmission à travers des parois métalliques ou céramiques. Les appareils employés prennent le nom de *récupérateurs* ou de *calorifères*. Les récupérateurs et les accumulateurs sont réservés aux applications industrielles. Les calorifères servent principalement à élever la température de l'air destiné à chauffer les locaux habités. Nous ne nous occuperons de ces derniers appareils que plus tard, dans les chapitres relatifs au chauffage des édifices.

UTILISATION DES CHALEURS PERDUES.

1025. Appareil Franchot. — En 1825, Franchot imagina un appareil à convection alternative (fig. 590) qui se compose d'un gros tuyau rempli de fragments de fer ou de fonte, de copeaux de fer donnant une énorme surface. Ce tuyau communique avec quatre conduits munis de registres ACA'C'. Les gaz de la combustion arrivent en C et sortent en C'.

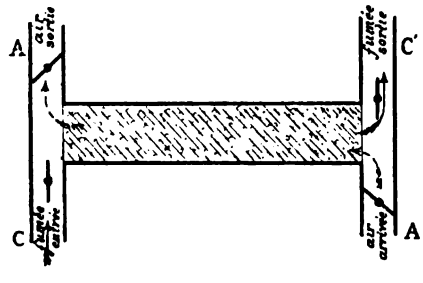


Fig. 590.

Lorsque les corps solides qui se trouvent dans le tuyau sont portés à une haute température, on ferme alors C et C', on ouvre A et A'. L'air arrivant en A, en sens inverse du chemin suivi d'abord par les gaz chauds, emprunte de la chaleur aux fragments métalliques, s'échauffe et sort en A' pour se rendre au point où il doit être utilisé

Dans la pratique, lorsque les opérations ont besoin d'être continues, ces appareils doivent toujours être groupés deux par deux, l'un accumulant la chaleur empruntée à la fumée ou à des gaz chauds pendant que l'autre se refroidit en échauffant des gaz froids.

1026. Appareil Ericson. — En 1850, Ericson appliqua à une machine à air chaud le système Franchot, en y apportant

le perfectionnement que nous venons d'indiquer. Il employa deux tuyaux parallèles B et C (fig. 591) remplis chacun d'un faisceau de toile métallique à mailles larges, de façon à ne pas trop réduire la section. Dans la disposition de la figure, C communique par A avec le gaz chaud à refroidir qui passe au contact des surfaces métalliques et s'échappe en D. Le gaz à chauffer arrive en E, parcourt le conduit B et s'échappe en F. Suivant la position des registres, les gaz à refroidir

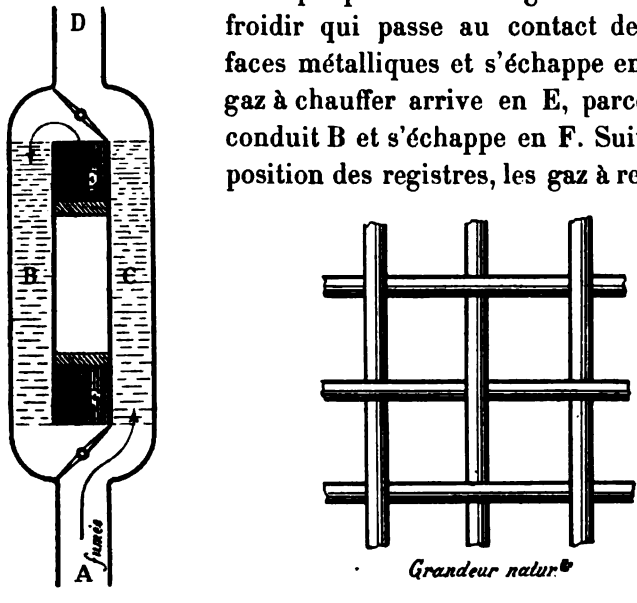


Fig. 591.

passent en C et les gaz à chauffer en B ou bien inversement.

Lorsque les toiles métalliques du conduit C sont suffisamment chauffées, on tourne les registres en sens contraire, les gaz chauds passent dans le conduit B, et le fluide à chauffer parcourt la gaine C, dans laquelle il rencontre des toiles métalliques de plus en plus chaudes.

1027. Accumulateur Siemens. — Cet appareil, composé de quatre chambres remplies de matériaux réfractaires, a pour but d'utiliser les chaleurs perdues des gaz qui sortent, à haute température, de certains fours métallurgiques, des fours de verrerie, etc. Les toiles métalliques de l'appareil Ericson ne permettant pas de chauffer l'air à une haute température, on les a remplacées (fig. 592) par des massifs en briques réfractaires, dis-

posés dans des chambres dont le plancher est formé par des voûtes percées d'un grand nombre d'ouvertures. Les briques s'échauffent d'abord au contact des gaz brûlés, et cèdent ensuite leur chaleur à l'air affluent. Elles sont rangées de manière à laisser autour d'elles de nombreux vides de faibles dimensions, dont l'ensemble doit fournir, dans chaque rangée, une section suffisante pour le passage des fluides à chauffer ou à refroidir.

En général, un four (fig. 592) est pourvu de deux groupes d'accumulateurs, désignés sous le nom de régénérateurs et composés chacun de deux chambres. Pendant que le premier groupe est employé à refroidir les gaz chauds qui vont du four à la cheminée de fumée, les chambres du second groupe servent, l'une à chauffer les gaz combustibles froids et l'autre l'air affluent, qui circulent séparément et se réunissent avant d'entrer dans le four où s'effectue la combustion. Quand un groupe d'accumulateurs est porté à la température convenable, on renverse les courants gazeux au moyen d'un jeu de valves. L'air et le gaz à chauffer passent séparément chacun dans une chambre de ce groupe, tandis que les gaz chauds qu'on veut refroidir descendent à la fois dans les deux chambres de l'autre groupe.

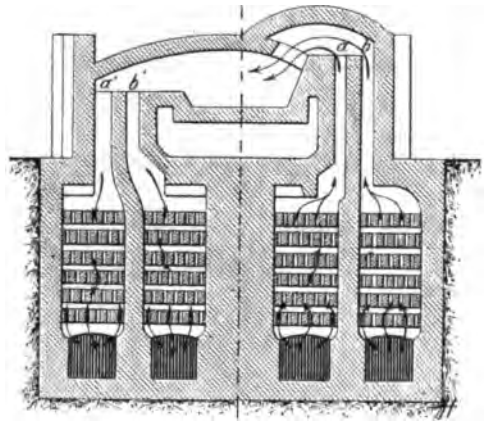


Fig. 592.

Le gaz et l'air allant au four arrivent d'abord à la base des chambres à briques, au contact des matériaux les moins chauffés, et, à mesure que leur température s'élève, ils rencontrent des parois de plus en plus chaudes. Les gaz brûlés sortant du four à très haute température entrent à la partie haute des accumulateurs, descendent au contact des massifs réfractaires

et rencontrent des parois à température décroissante. Le chauffage et le refroidissement des fluides s'effectuent donc d'une manière méthodique.

En opérant le renversement des courants gazeux à des intervalles suffisamment rapprochés (une ou deux fois par heure), on obtient une très grande régularité de température dans le four. Dans ces accumulateurs, la manœuvre des registres est assez compliquée et chaque renversement entraîne une certaine perte de gaz et d'air chauds.

1028. Lorsqu'il est possible d'utiliser directement, sans les refroidir, les gaz combustibles fournis par un gazogène et dont la température est, en général, de 800° à 900°, ces gaz n'ayant plus besoin d'être réchauffés, l'accumulateur ne chauffe que l'air nécessaire à la combustion, ce qui représente environ la moitié du poids des gaz brûlés sortant du four. Ces derniers sont alors insuffisamment refroidis, et, après leur passage dans l'accumulateur, arrivent à la cheminée à des températures voisines de 500° à 600°. C'est là une cause de pertes qu'on doit chercher à supprimer, sinon en totalité, du moins en grande partie.

On peut atteindre ce but, en augmentant la quantité d'air qui passe dans l'accumulateur et en envoyant l'excédent dans le gazogène au moyen d'un jet de vapeur. Le mélange d'air et de vapeur surchauffée à une température de 600° environ arrive dans le gazogène par des orifices ménagés sur la face opposée à la grille et au-dessus de celle-ci. Au contact du coke en ignition, la vapeur d'eau se décompose et chaque volume décomposé donne un volume d'hydrogène et un volume d'oxyde de carbone qui viennent enrichir les gaz combustibles sans introduire d'azote. On peut ainsi porter à 12 ou 13 p. 100 la quantité d'hydrogène, alors que, dans les gaz au coke ordinaires, elle n'est que de 2,5 à 3,5 p. 100.

Cette disposition a été appliquée par M. Lencauchez à de nombreux gazogènes et permet d'obtenir des gaz dont la puissance calorifique peut atteindre de 1 200 à 1 300 calories. Ce chiffre est supérieur de 200 à 300 au nombre de calories fourni par la combustion d'un mètre cube de gaz ordinaire au coke.

Tout récemment M. Siemens a eu l'idée d'alimenter les gazogènes, non plus avec de l'air chauffé dans des accumulateurs, mais avec une partie des gaz de la combustion tels qu'ils sortent des fours à chauffer. L'acide carbonique contenu dans ces gaz se décompose en passant au travers du combustible placé sur les grilles des gazogènes et donne de l'oxyde de carbone.

L'acide carbonique étant ainsi d'abord décomposé, puis ensuite reconstitué par la combustion de l'oxyde de carbone, il n'y a de ce fait ni gain ni perte de chaleur; mais on conçoit qu'on puisse, par ce procédé, réaliser une économie résultant de ce qu'on récupère directement la chaleur contenue dans une partie des gaz de la combustion, sans passer par l'intermédiaire des accumulateurs.

Dans ces conditions, le volume des gaz à chauffer étant diminué de même que celui des gaz chauds à refroidir, puis à évacuer, les dimensions des accumulateurs et celles de la cheminée peuvent être réduites; on réalise donc aussi une économie sur les frais de premier établissement.

1029. Appareil à air chaud pour haut fourneau, système Cowper perfectionné. — M. Lencauchez a perfectionné les accumulateurs Cowper, dont il a augmenté la surface utile par mètre cube. Tous les canaux ont été rendus droits afin de faciliter le nettoyage pendant les arrêts. La chambre de combustion située au-dessus du massif réfractaire a de grandes dimensions en vue d'obtenir la combustion complète des gaz; enfin, les manœuvres des valves, à chaque renversement de flammes, ont été simplifiées.

Le massif de briques de l'accumulateur (fig. 593) est porté par un plancher en fonte 4, 4. Ce dernier, soutenu par des colonnes en fonte LL, repose en partie sur une couronne annulaire AB, en tôle, que traverse le conduit E pourvu d'un jeu de valves permettant, à volonté, d'évacuer la fumée ou d'introduire l'air froid. Lorsqu'on chauffe l'accumulateur, l'air froid pénètre dans la couronne AB par une ouverture spéciale (non figurée), monte en s'échauffant dans les conduits TT réservés dans l'enveloppe de l'appareil, passe dans le vide O et entre

par l'orifice S dans la chambre M. Le gaz combustible sort par le tuyau Y, monte dans le conduit R et vient se mélanger avec l'air qui arrive par S. La combustion s'effectue dans la chambre M et les gaz

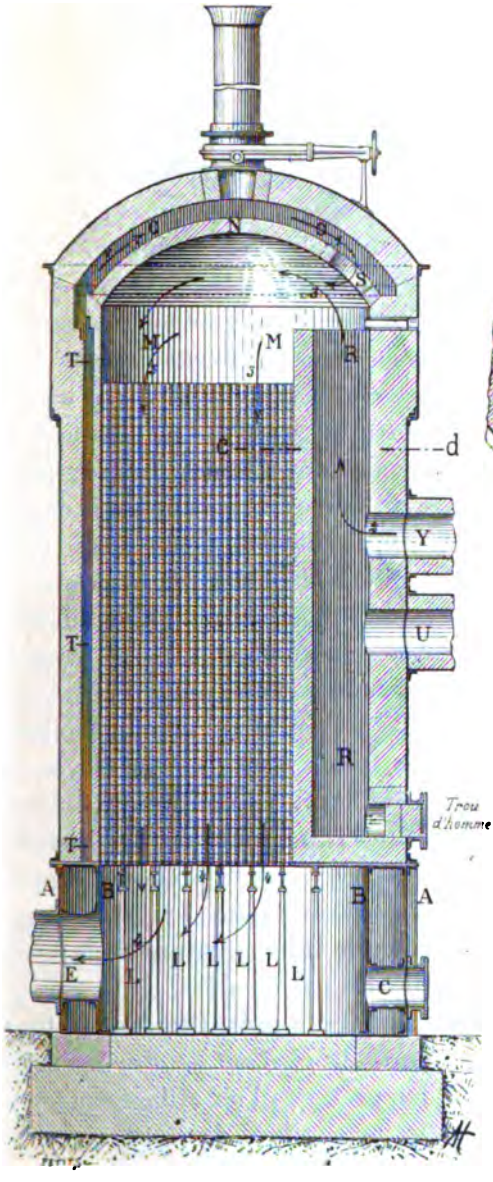
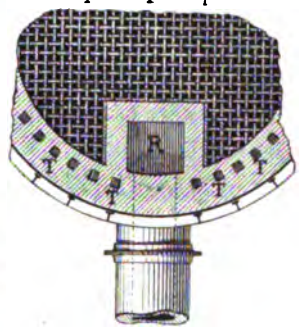


Fig. 593.

Coupe en plan par c-d



produits descendent dans les canaux verticaux du massif formé de briques placées de champ. Ces gaz brûlés pénètrent ensuite dans la chambre inférieure L, s'échappent par E et passent enfin dans le carneau de fumée pour se rendre à la cheminée.

Lorsque le massif céramique est suffisamment chaud, on manœuvre les valves

pour arrêter l'arrivée de gaz et pour permettre l'introduction de l'air à chauffer. Cet air entre par E, arrive dans la chambre L, monte dans les canaux en briques, traverse la chambre M, redescend par le conduit R et, par la gaine U, se rend dans la conduite de vent chaud.

La manœuvre des valves se fait toutes les deux ou trois heures. On construit deux de ces appareils pour chaque haut fourneau. La disposition représentée (fig. 593) permet d'obtenir $37^{mq},40$ de surface utile par mille briques de $0,22 \times 0,11 \times 0,055$ et plus de 16 mètres carrés par mètre cube de maçonnerie.

1030. Récupérateurs. — Les appareils à renversement de circulation que nous venons de voir se composent toujours de doubles chambres qui reçoivent chacune alternativement l'air ou la fumée. Quand ils ont quatre chambres, deux sont traversées par la fumée et les deux autres servent l'une au chauffage de l'air et l'autre au chauffage des gaz combustibles. Les récupérateurs appliqués au chauffage de l'air n'ont qu'une seule chambre dans laquelle l'air et la fumée circulent en même temps, mais en sens contraire, dans des conduits différents; la transmission de la chaleur s'effectue au travers d'une paroi. Lorsqu'ils doivent chauffer à la fois l'air et les gaz combustibles, les récupérateurs sont formés de deux chambres, l'une reçoit l'air et une partie de la fumée, l'autre reçoit les gaz et le reste de la fumée.

Lorsque la température de la fumée n'est pas trop élevée, on peut employer des surfaces métalliques et on évalue à environ 100° la différence de température entre la fumée et l'air chauffé. Quand la température des gaz brûlés est trop élevée, c'est-à-dire lorsqu'elle dépasse 500° à 600°, on emploie toujours des appareils céramiques et on estime que la température de la fumée surpasse d'au moins 250° celle des gaz chauffés.

1031. Récupérateurs à parois métalliques. — On a fréquemment cherché à utiliser la chaleur perdue emportée par la fumée, en chauffant une partie de l'air affluent au foyer, afin d'obtenir une plus haute température de combustion. On emploie souvent dans ce but un appareil qui consiste (fig. 594) en une série de tuyaux en fonte disposés verticalement et fixés dans

deux plaques tubulaires. A l'intérieur des tubes passe l'air à chauffer, tandis que les gaz à refroidir circulent à l'extérieur.

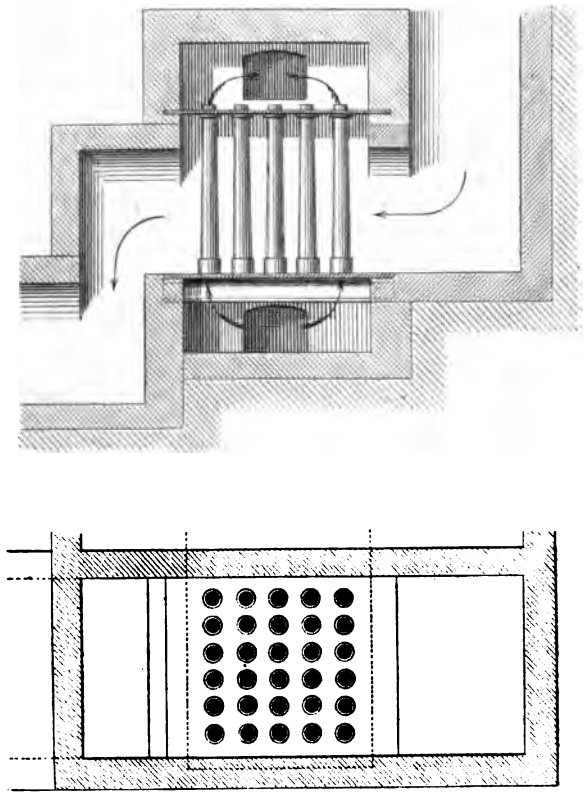


Fig. 594.

En disposant des cloisons pour rendre le chauffage méthodique, on augmenterait l'effet de l'appareil (99).

1032. Récupérateur à parois céramiques. — MM. Gaillard et Haillot ont construit un récupérateur (fig. 595) dans lequel la transmission de chaleur s'effectue des gaz à l'air à travers une paroi céramique. Les gaz chauds venant du four passent successivement dans les conduits horizontaux B B′ B″ B‴ et descendent dans le carneau de fumée partant de la base du four. Les divers conduits sont séparés les uns des autres par des languettes réfractaires de $0^m,04$ d'épaisseur, et des re-

gards à tampons mobiles permettent d'effectuer le nettoyage.

Les parois des conduits de fumée horizontaux sont constituées par des briques creuses, superposées de manière à former des canaux verticaux dans lesquels monte l'air à chauffer. L'air extérieur est amené sous le massif réfractaire, s'élève dans ces canaux et arrive dans une chambre M d'où il sort pour aller se mélanger avec le gaz combustible qui doit être brûlé dans le four.

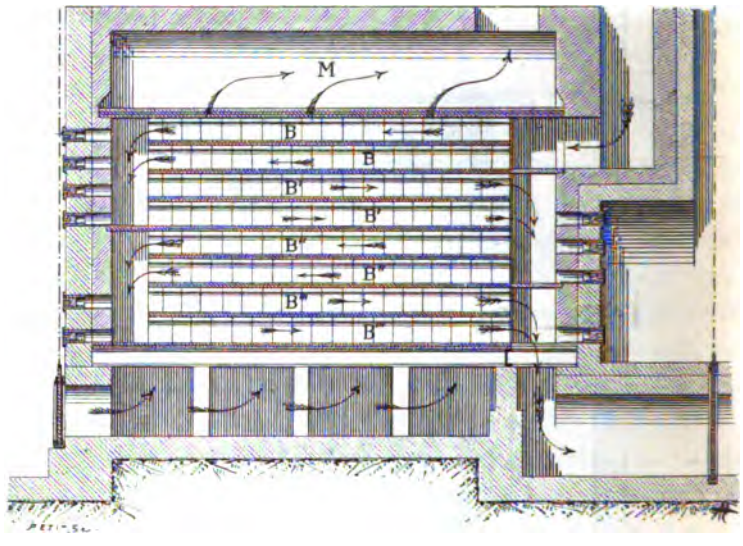
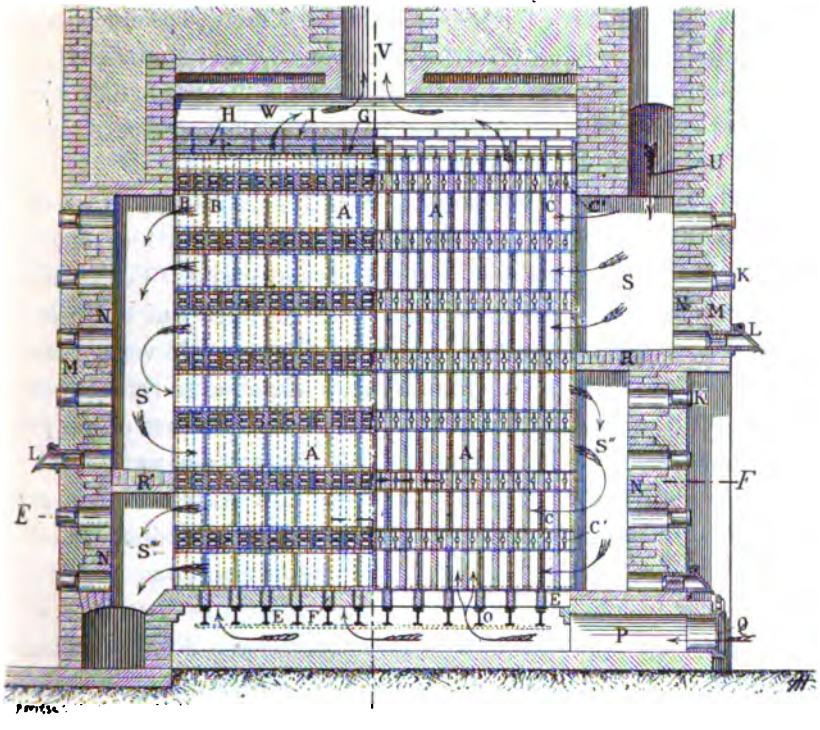


Fig. 595.

Cet appareil donne 8 mètres carrés de surface utile par mètre cube de chambre à briques. Une seule chambre suffit, comme nous l'avons dit, pour le chauffage de l'air d'un four. Le renversement des gaz est supprimé, le chauffage de l'air et le refroidissement de la fumée s'effectuent méthodiquement et sans discontinuité.

1033. Récupérateur Lencauchez. — Cet appareil (fig. 596-597) se compose d'une chambre en maçonnerie M dont l'intérieur est revêtu d'une chemise en briques réfractaires. Cette chambre, de section rectangulaire, est garnie de plusieurs rangées parallèles de poteries réfractaires spéciales superposées. Les poteries inférieures reposent sur des pièces E en

terre réfractaire, portées par des fers à I transversaux, scellés



Coupe E F

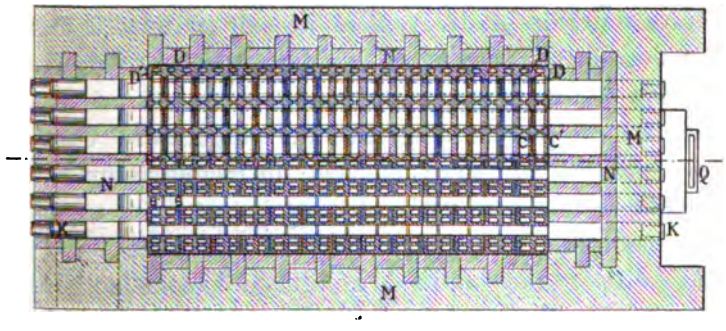


Fig. 596-597.

dans les murs de la chambre M. Les intervalles libres entre les poteries sont, dans le sens de la hauteur, divisés en un certain

nombre de conduits au moyen de cloisons horizontales, formées de poteries creuses BB, qui servent d'entretoises. De deux en deux, à gauche et à droite alternativement, ces cloisons se prolongent jusqu'à la rencontre des parois de la chambre M, de manière à former des chicanes et à obliger les gaz brûlés à effectuer plusieurs circulations au contact des poteries verticales AA avant de gagner la cheminée.

De la combinaison des poteries A et des entretoises B résulte une série de canaux verticaux, reliés entre eux par les conduits transversaux existant à l'intérieur des entretoises. Ces canaux et conduits sont parcourus par l'air à chauffer qui entre à la partie basse de la chambre de récupération, monte vers le sommet, où il arrive dans la chambre d'air chaud et se rend ensuite au point d'utilisation. En même temps, les flammes ou les gaz brûlés sortant du four circulent au contact des parois extérieures des poteries verticales A et des entretoises B. Les gaz chauds entrent à la partie haute du massif de récupération, descendent à la base en suivant le chemin sinueux SS'S''S''' limité par les chicanes R et enfin se rendent à la cheminée. On voit que cet appareil réalise les dispositions d'un chauffage méthodique. De plus, toutes les parties constituantes du massif récupérateur ne reçoivent la chaleur des flammes perdues que sur une face et se trouvent toutes refroidies sur l'autre face par le courant d'air à chauffer. On a évité avec soin qu'aucune pièce non refroidie intérieurement ne soit soumise à l'action des flammes sur ses deux faces, afin de soustraire celles-ci à la vitrification et à une destruction rapide.

Dans la pratique, la différence de température entre les flammes perdues qui arrivent dans un récupérateur et l'air chauffé qui en sort peut varier de 200° à 400° C, en supposant que ce récupérateur présente une surface utile de $1^{mq},00$ à $1^{mq},50$, soit par kilogramme de houille ou de coke, soit encore par 2 à 5 mètres cubes de gaz de gazogène brûlés par heure dans le four auquel il est appliqué. Par suite, lorsque l'air se trouve chauffé à 1200° ou 1300°, la température des flammes perdues peut varier de 1400 à 1600 degrés. A ces températures,

les parois entourées par les flammes sont exposées à se vitrifier et à couler rapidement, si elles ne sont pas en matières réfractaires de qualité exceptionnelle; la fusion peut encore se produire lorsqu'elles sont attaquées par des matières (oxydes métalliques, poussières de foyer, sels de potasse ou de soude, etc.) avec lesquelles la silice peut se combiner pour donner naissance à des silicates fusibles. Lorsque les diverses parties d'un récupérateur sont toutes refroidies sur une face, M. Lencauchez estime que l'échauffement ne sera jamais suffisant pour permettre la vitrification des parois exposées directement à l'action des flammes. C'est dans le but d'éviter cette vitrification qu'il a employé des poteries creuses pour former les chicanes de son récupérateur et créer par surcroît des surfaces de chauffe utiles.

De plus, ce récupérateur est construit par assises ou rangs horizontaux à libre dilatation; le massif est établi en poteries spéciales qui peuvent, dans une certaine mesure, se déplacer les unes par rapport aux autres, sans donner lieu à des fuites par suite de leur disjonction dans le sens vertical; enfin, la dernière rangée des poteries A a été chargée de deux assises supplémentaires.

Toutes ces précautions ont été prises pour éviter les dislocations ou fissures qui se produisent au coup de feu dans les autres récupérateurs et qui ont pour inconvénient de laisser passer dans la fumée l'air le plus fortement chauffé, en raison de ce que les carneaux de fumée sont toujours en dépression par rapport aux conduits d'air chaud. La surface de transmission est de 8 m^2 par m^3 de chambre à briques. De nombreuses applications de ce récupérateur ont été réalisées dans des usines à gaz et dans divers établissements métallurgiques.

1034. Dimensions des accumulateurs et récupérateurs. — D'après M. Lencauchez, un four à puddler affinant 3500 kilogrammes de fonte en 24 heures peut ne consommer que 80 kilogrammes de houille par heure, lorsqu'on le chauffe au gaz de gazogène avec récupérateur. La houille employée dans ce cas étant généralement très impure, on peut estimer sa puissance calorifique à 6400 calories. Le récupérateur peut

absorber 20 à 25 pour cent de la chaleur produite par la combustion dans le gazogène, soit, pour ce cas particulier :

$$80 \times 6400 \times 0,25 = 128\,000^{cal}.$$

Comme les fluides circulent en sens inverse, admettons un écart moyen de 250° entre la température des gaz de la combustion et celle de l'air affluent. De nombreuses constatations faites dans les usines de la Compagnie parisienne du gaz ont montré que, dans ces conditions, la transmission était de 1300 calories par mètre carré et par heure. La surface à donner au récupérateur est égale à $S = \frac{128\,000}{1\,300} = 98\ m^2$, soit en arrondissant 100 m². Ce qui représente $1^{mq},25$ par kilogramme de combustible brûlé.

Lorsqu'on se sert d'accumulateurs, dans lesquels les cendres et poussières peuvent recouvrir en une seule journée toutes les surfaces de l'appareil, la quantité de chaleur transmise, pour un écart de 250°, ne doit pas être estimée à plus de 650 calories en moyenne, par heure. Le four à puddler exigerait dans ce cas deux accumulateurs de chacun 200 mètres carrés.

Dans un accumulateur ordinaire on obtient, en employant des briques de $0,22 \times 0,11 \times 0,055$, une surface utile, léchée par les flammes, de $16,60^{mq}$ par mètre cube de chambre. Le volume total des massifs de briques sera $\frac{2 \times 200}{16.6} = 24$ mètres cubes.

Le récupérateur produisant le même effet n'occupera que $\frac{100}{8} = 12,50^{m^3}$. Il prend près de moitié moins de place, mais, en raison des briques spéciales qu'il exige, il est un peu plus coûteux d'établissement.

1035. Vapeur surchauffée. — On a souvent besoin, dans certaines industries, de porter différents corps à des températures supérieures à 180°, sans qu'il soit possible de se servir de l'air chaud dont l'oxygène, à température élevée, pourrait

altérer ou détruire les produits chauffés. Il devient difficile de recourir à l'emploi de la vapeur saturée directement fournie par une chaudière, car la pression dépassant alors dix atmosphères se trouve trop élevée. On a quelquefois recours à la vapeur surchauffée qui permet d'opérer sous pression relativement faible, à une température de 400° et même au delà.

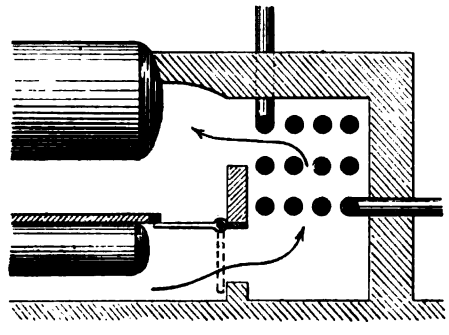


Fig 598.

Un des moyens les plus simples pour surchauffer la vapeur consiste à disposer (fig. 598) à la suite du fourneau d'une chaudière, une série de tuyaux en fonte dans lesquels on fait circuler la vapeur. Un registre permet de laisser arriver sur les tuyaux les produits de la combustion du foyer ou de faire passer directement ces produits sous le corps principal de la chaudière sans traverser le surchauffeur. Cette disposition, due à M. Hirn et employée pour surchauffer la vapeur destinée aux machines, occupe peu de place; mais, en pratique, elle ne permet pas de régler avec précision la température de la vapeur.

1036. Appareil Normand fils. — Dans certaines circonstances, on n'a besoin de surchauffer que de quelques degrés. Dans les anciennes chaudières marines à galeries, par exemple, où on ne pouvait dépasser la pression correspondant à 130°, on avait trouvé avantageux de surchauffer la vapeur à 150° ou 160°. Il aurait été difficile et encombrant d'avoir dans ce cas un surchauffeur avec foyer spécial.

M. Normand fils avait imaginé de surchauffer avec de la vapeur saturée à plus haute pression et fournie à une température de 180° par un générateur tubulaire spécial (fig. 599) fonctionnant à 10 atmosphères. Cette vapeur à haute tension vient envelopper un faisceau de tubes dans lesquels circule la vapeur à surchauffer. Le retour de l'eau condensée se fait directement

à la chaudière et il n'y a pas d'incrustations. Cet appareil donne de bons résultats.

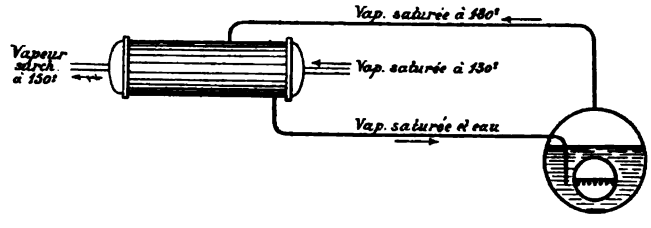


Fig. 599.

1037. Appareil Testud de Beauregard. — M. Testud de Beauregard a cherché à produire directement la vapeur surchauffée au moyen d'une chaudière verticale à fond étamé, renfermant un bain d'étain fondu dans lequel on projette de l'eau goutte à goutte. Il se produit immédiatement de la vapeur surchauffée à une température de 180° à 300° suivant que le bain d'étain est plus ou moins chaud. Cette vapeur circule entre deux enveloppes concentriques dont l'intérieure est enfoncée dans l'étain, tandis que l'extérieure n'y plonge pas.

Cet appareil fonctionne quand il vient d'être installé, mais il est promptement mis hors d'usage. La température de la vapeur surchauffée est d'ailleurs toujours difficile à régler. On l'a donc abandonné.

1038. Appareil surchauffeur de Thomas et Laurens. — Cet appareil (fig. 600) se compose d'un foyer ordinaire à grille légèrement inclinée et surmonté de plusieurs carneaux superposés. Le surchauffeur est formé d'un serpentin, dont les parties horizontales sont en fonte et reposent sur les radiers des carneaux. Pour éviter l'action directe du foyer on ne place pas de tubes dans le carneau inférieur.

Les joints du serpentin sont soustraits à l'action des gaz de la combustion. Ils sont isolés dans du sable en dehors du four, afin qu'ils puissent être facilement visités et réparés. Les différents tubes en fonte sont réunis par des coudes en fer doués d'une certaine flexibilité qui permet la dilatation. Les

joints sont dressés et garnis d'amiante. L'ensemble de l'appareil présente une certaine masse qui donne de la régularité malgré les variations d'intensité du foyer.

Pour augmenter l'effet utile du surchauffeur et maintenir la vapeur constamment au contact des parois chauffées, on a fait venir de fonte au centre des tubes horizontaux de $0^m,10$ de diamètre, un noyau cylindrique de $0^m,04$ à $0^m,05$ d'épaisseur. Au lieu d'un noyau central, il serait préférable de faire venir

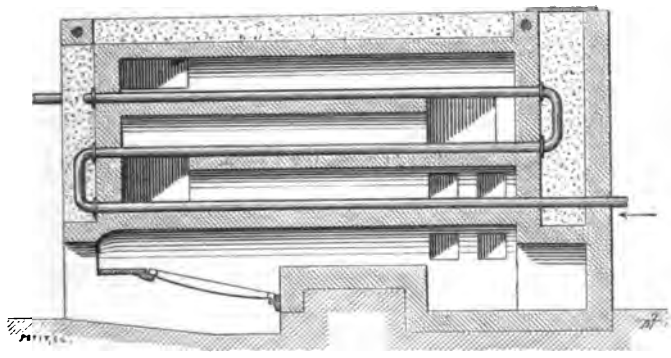


Fig. 600.

des nervures longitudinales dans les tubes, mais cela augmenterait les difficultés de fabrication.

Les produits de la combustion sortant du foyer, parcourent le carneau inférieur, arrivent dans le second carneau qui renferme les premières spires des serpentins, puis montent successivement jusqu'au sommet du fourneau où ils peuvent être repris et être utilisés pour un chauffage à température peu élevée.

La vapeur venant de la chaudière circule en sens inverse de la fumée. On peut ainsi chauffer la vapeur jusqu'à 350°. A cette température, les thermomètres ne donnent pas d'indications bien précises. Pour se rendre compte de la température, les ouvriers déposent un morceau de bois ou d'amadou sur la dernière ligne de tuyaux et constatent le temps qu'il met à s'allumer.

Il convient de placer l'appareil surchauffeur à côté de l'appareil utilisateur, afin d'éviter les refroidissements importants

qui se produiraient dans le parcours d'un appareil à l'autre.

1039. Surchauffage par contact avec des gaz chauds. — L'opération se fait dans un petit fourneau en briques réfractaires dans lequel on brûle du coke ou de la houille sèche. Le fourneau est enveloppé de tôle. En haut, pour le chargement, se trouve une porte lutée avec de l'argile humide. En bas est une autre porte servant à retirer les cendres et les scories. Des tubes de quelques centimètres de diamètre, traversant la maçonnerie, amènent vers le bas du foyer de l'air pour brûler le combustible; quelques-uns, placés plus haut, fournissent l'air nécessaire à la combustion de l'oxyde de carbone.

Un jet de vapeur disposé dans le tuyau de sortie produit l'entraînement des gaz; un second jet voisin du premier permet de régler la température et de l'abaisser au point convenable pour pouvoir transporter les gaz.

1040. Foyer Mary. — Si l'on veut avoir de la vapeur surchauffée à 500° ou 600°, on peut employer l'appareil suivant

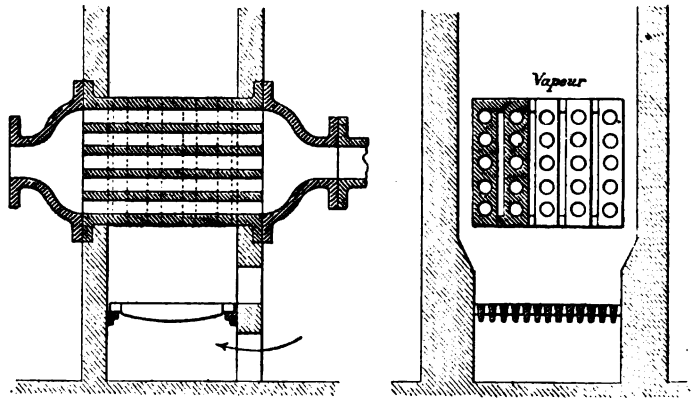


Fig. 601.

(fig. 601) qui est formé d'un bloc de fonte d'une seule pièce afin d'éviter les joints et dans lequel sont ménagées des fentes verticales pour le passage de la fumée. Entre ces fentes sont disposés des tubes cylindriques horizontaux de 4 à 5 centimètres de diamètre dans lesquels passe la vapeur.

On place le bloc de fonte au milieu du foyer. Il est très important que les tubes soient venus de fonte et, de plus, oxydés à l'intérieur, sinon, à cette haute température, la vapeur serait décomposée.

La température s'apprécie à l'aide d'un morceau de bois ou d'amadou, comme nous l'avons déjà indiqué (**1038**).

1041. Les appareils en fer et en fonte sont rapidement détruits par l'action de la vapeur d'eau à haute température, on ne peut donc recourir à leur emploi, quand on veut surchauffer la vapeur à des températures qui peuvent atteindre 1200°. Lorsqu'on a besoin de vapeur surchauffée à très haute température, on fait usage d'accumulateurs à renversement, à enveloppe métallique, chauffés soit par les flammes de foyers spéciaux ou de fours métallurgiques, soit par la combustion des gaz de hauts fourneaux. En appliquant l'appareil Cowper perfectionné (**1029**), on peut arriver à surchauffer la vapeur jusqu'à 1200° sous une pression de quelques décimètres d'eau. Lorsque la pression de la vapeur surchauffée ne doit pas dépasser $0^m,01$ à $0^m,02$, on peut se servir d'accumulateurs ordinaires (**1027**) ou de récupérateurs (**1033**).

L'appareil peut être pourvu d'un régulateur spécial à cloche équilibrée qui agit sur la valve d'admission de la vapeur. Si la dépense varie, la cloche se déplace et modifie la quantité de vapeur admise ; il en résulte que la production de vapeur surchauffée suit les besoins de la consommation.

1042. Emploi de la vapeur surchauffée. — En 1847, M. Violette avait proposé d'appliquer à la préparation du charbon servant à fabriquer la poudre, un procédé déjà employé par MM. Thomas et Laurens pour la revivification du noir animal. Ce système fut installé à Esquerdes (Pas-de-Calais), puis à Wibrin (Belgique) et plus tard à Dresde.

Les charbons obtenus par la carbonisation du bois sous l'action d'un courant de vapeur surchauffée sont très homogènes et d'excellente qualité. Mais l'installation des appareils utilisant la vapeur est plus coûteuse que celle des appareils ordinaires de carbonisation à cylindres ou à cornues fixes ou mobiles ; les frais d'entretien et de main-d'œuvre sont également

plus élevés et la dépense de combustible est elle-même plus considérable, parce qu'on n'a pu jusqu'ici tirer parti de l'énorme quantité de chaleur emportée par la vapeur surchauffée. Ces divers motifs ont empêché le développement de ce mode de carbonisation, malgré les avantages réels qu'il paraît présenter.

La vapeur surchauffée est employée à la revivification du noir animal, à la distillation des acides gras, à la fabrication des briquettes, à la fusion du brai de goudron, ainsi qu'à la distillation des schistes, etc.

Les conduites de vapeur surchauffées doivent être en fer ou en fonte ; bien que ces métaux soient rapidement altérés, ils résistent plus longtemps que le cuivre qui, d'ailleurs, est trop dilatable ; les robinets ou mieux les soupapes doivent être en fonte. On ne peut transporter la vapeur surchauffée à de grandes distances. On aurait trop de pertes par le refroidissement et, en outre, les tuyaux de conduite étant au rouge sombre à partir de 500° donneraient lieu à un danger constant d'incendie.

1043. Quantité de chaleur nécessaire pour le surchauffage de la vapeur. — Cette quantité de chaleur se calcule de la manière suivante. S'il faut surchauffer de 100° à 300° 1 kilogramme de vapeur, dont la capacité calorifique est 0,480 le nombre de calories absorbées sera :

$$M = PC(T - t) = 0,480(300 - 100) = 96^{cal}.$$

Le nombre de calories nécessaires pour produire la vapeur à 100° avec de l'eau prise à 0° est :

$$Q = 606,5 + 0,305t = 637.$$

De sorte que la quantité totale de chaleur absorbée pour avoir de la vapeur surchauffée à 300°, en partant de l'eau à 0°, sera $637 + 96 = 733$.

Pour calculer les appareils de surchauffe, on peut compter sur une transmission de 4000 à 5000 calories par mètre carré de surface et par heure, dans un appareil à serpentin.

1044. Observation sur le chauffage par les gaz. — Ainsi que nous l'avons déjà dit, les gaz, à l'exception de la

vapeur saturante, se prêtent mal au transport de la chaleur à distance. Ils ont une faible densité, une faible capacité calorifique; comme on n'utilise pas leur chaleur de liquéfaction, il faut en employer de grands volumes, avoir de grandes sections de conduites et, par suite, il y a un refroidissement considérable dans le transport. De plus, il faut des appareils spéciaux pour mettre ces gaz en mouvement; mais, comme nous l'avons vu, ils permettent seuls de chauffer facilement au-dessus de 180°.

En entraînant les gaz sous l'action d'un jet de vapeur, on peut obtenir ce même résultat. Les gaz surchauffent la vapeur qui produit le transport du tout.

§ II

CHAUFFAGE DES LIQUIDES.

1045. Nous avons vu précédemment (t. II, 1re partie) plusieurs applications très importantes du chauffage des liquides dans l'étude des chaudières à vapeur, et dans les chapitres relatifs à la distillation et à l'évaporation. Nous allons maintenant passer en revue d'autres applications du chauffage de l'eau pour les bains, les buanderies et certains usages industriels et domestiques. Nous nous occuperons dans un chapitre suivant (VIII, § 5) du chauffage des habitations, serres, etc., par circulation d'eau chaude.

Les liquides peuvent être chauffés :

1° Soit par contact direct avec les gaz de la combustion;

2° Soit par transmission au moyen d'un foyer;

3° Soit indirectement par transmission à l'aide d'un véhicule de chaleur, comme la vapeur ou l'eau.

Nous allons indiquer la différence que ces divers modes apportent dans la disposition des appareils.

CHAUFFAGE DES LIQUIDES PAR LEUR CONTACT DIRECT AVEC LES GAZ DE LA COMBUSTION.

1046. De même que pour les gaz, le chauffage d'un liquide par contact direct des produits de la combustion est le moyen

le plus simple, mais il est peu susceptible d'application. On a essayé au moyen d'un appareil mécanique d'injecter les produits de la combustion dans le liquide d'où ils se dégageaient après s'être refroidis, mais cet essai n'a pas eu de résultat pratique.

Une autre disposition consiste à faire arriver les gaz à la partie inférieure d'une cheminée sur laquelle se trouve un réservoir d'où on fait tomber l'eau en pluie au milieu de la fumée. Il y a échauffement du liquide et on peut même recueillir certains gaz par dissolution. Mais il faut éviter de trop refroidir la fumée, car il est nécessaire que la température des gaz reste suffisante pour assurer le tirage.

Ces moyens sont peu usités et généralement le chauffage s'effectue par transmission à travers une surface métallique.

CHAUFFAGE PAR TRANSMISSION AVEC FOYER.

1047. Le moyen le plus primitif pour chauffer un liquide consiste à le mettre au-dessus d'un feu dans un vase qu'on accroche à un support, qu'on place sur un trépied ou qu'on pose sur des pierres. Dans ces divers cas, il y a une énorme perte de chaleur par rayonnement et par insuffisance de contact entre les gaz chauds et les parois du vase.

Pour réduire ces pertes, on entoure le foyer d'une enveloppe en maçonnerie ou en tôle et on ajoute une cheminée pour le tirage. En général, les gaz restent toujours peu de temps en contact avec le métal, ils passent trop directement à la cheminée et, de plus, les parois du vase sont inégalement chauffées.

Pour obtenir une meilleure répartition de la chaleur, on dispose sur toute la circonférence de la partie haute du foyer des ouvertures pour le départ de la fumée. Celle-ci redescend ensuite par des canaux verticaux pour se réunir dans un conduit annulaire qui aboutit à la cheminée. La surface de chauffe du vase et la chaleur dégagée par le combustible sont ainsi un peu mieux utilisées.

Avec ce chauffage par rayonnement direct, on arrive à transmettre 40 à 50 000 calories par mètre carré de surface léchée par les flammes; mais la fumée conserve une température très

élevée et on perd encore une grande partie ($^1/_3$ à $^1/_2$) de la chaleur dégagée par la combustion.

1048. Chaudières à chicanes. — Il est impossible avec les dispositions précédentes de refroidir suffisamment les produits de la combustion qui s'échappent toujours à une température trop élevée. Pour obtenir une utilisation plus complète, on a fait dans certaines industries (en particulier, celle des salines) des chaudières plates et longues (fig. 602), et, au moyen de chicanes, on a forcé la fumée à faire plusieurs circuits sous chaque chaudière, avant de se rendre à la cheminée.

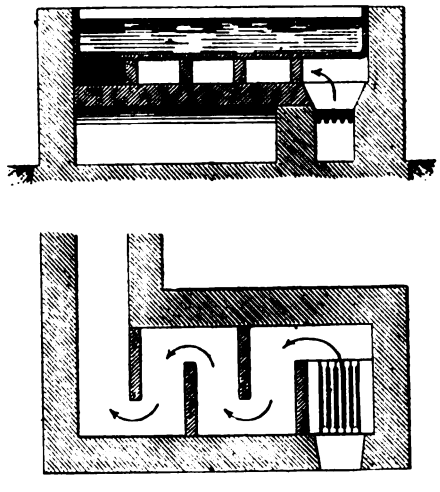


Fig. 602.

On peut aussi placer plusieurs chaudières à la suite les unes des autres et opérer un chauffage méthodique.

Quand il y a peu de différence entre les températures des liquides entrant et sortant, on peut disposer une grande chaudière au-dessus d'un conduit unique de fumée. Le départ de la fumée doit avoir lieu par la partie inférieure de ce conduit.

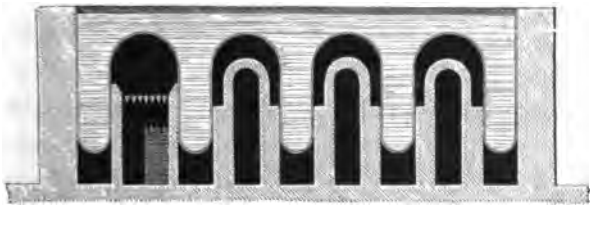


Fig. 603.

Dans tous les cas il convient de couvrir la chaudière pour empêcher le rayonnement à travers le liquide et le refroidissement dû à l'évaporation.

1049. Chaudières à dépôts. — Lorsque le liquide chauffé produit des dépôts, on emploie, pour éviter les coups de feu, des chaudières à fond ondulé (fig. 603).

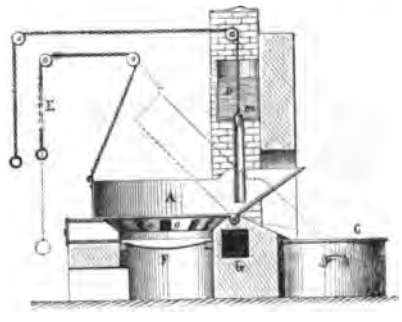


Fig. 604.

Les matières se déposent ainsi aux points les plus bas qui ne sont pas en contact avec les flammes. C'est une complication qu'on évite facilement en chauffant à la vapeur.

1050. Chaudières à déversement. — Lorsqu'il s'agit de chauffer puis de vider rapidement, on fait usage d'une chaudière (fig. 604) montée sur tourillons et munie d'un large bec à l'avant. Dès que le liquide est chaud, on soulève l'arrière au moyen d'une chaîne passant sur des poulies de renvoi et on vide la bassine en quelques instants.

Tous ces procédés ne sont plus guère en usage, l'emploi de la vapeur les a fait supprimer.

CHAUFFAGE DE L'EAU.

1051. Les diverses chaudières que nous avons étudiées et qui sont destinées à produire de la vapeur, peuvent être employées pour le chauffage de l'eau. Les chaudières à foyer extérieur et à foyer intérieur, les chaudières à gros tubes et celles à petits tubes, s'appliquent à ce nouvel emploi; les observations que nous avons faites sur leurs avantages et leurs inconvénients respectifs subsistent ici, mais l'influence de la pression sur la forme a moins d'importance. Toutefois, quand ces chaudières sont destinées à chauffer de l'eau, il convient, afin d'utiliser complètement leur surface, d'apporter quelques modifications dans la disposition des carneaux.

Si, par exemple, on emploie une chaudière à bouilleurs et qu'elle soit complètement pleine d'eau, on pourra faire monter les carneaux jusqu'au sommet de la chaudière afin d'utiliser sa

moitié supérieure. On ne peut employer cette disposition dans une chaudière à vapeur, parce que les parois chauffées sans être baignées par l'eau rougiraient, et que la chaudière se trouverait en danger d'explosion. Si la chaudière à eau n'était pas pleine, il faudrait absolument prendre les mêmes dispositions que pour les générateurs de vapeur.

Dans les chaudières à foyer amovible, comme on n'a plus besoin de réservoir de vapeur, on peut placer au-dessus du tube central des tubes de retour et faire monter les carneaux autour de la calandre, jusqu'à la génératrice supérieure.

Lorsqu'il s'agit d'installations de faible importance comme des chauffages de bains ou de serre, on construit généralement de petites chaudières spéciales dont nous allons indiquer quelques types.

1052. Pour le chauffage de l'eau des bains, on emploie assez souvent (fig. 605) un foyer disposé à l'intérieur d'une grande cuve, soit en bois cerclé de fer, soit en tôle. La cuve en bois a pour avantage de diminuer le refroidissement extérieur.

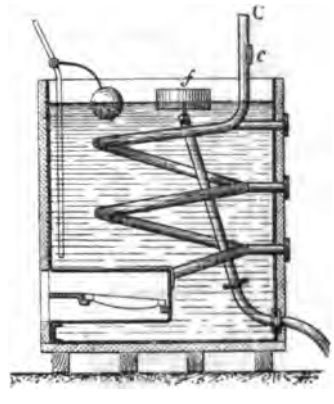


Fig. 605.

Le foyer est placé au bas de la cuve et les gaz de la combustion s'échappent par un tuyau contourné en hélice et plongé dans l'eau. Ce tuyau est en cuivre rouge et pourvu de tubulures ou regards, débouchant à l'extérieur de la cuve. Ces regards sont fermés par des tampons qu'on enlève, lorsqu'on veut procéder au ramonage. Cette dernière opération s'effectue au moyen d'un boulet ou d'un hérisson.

On a soin de prendre l'eau chaude à la partie supérieure, au moyen d'un tuyau flexible en caoutchouc, soutenu par un flotteur, ou bien d'un tube articulé. L'arrivée d'eau froide, destinée à remplacer l'eau chaude écoulée, est réglée automatiquement par un robinet à flotteur, muni d'un tuyau plongeur qui amène l'eau nouvelle à la partie basse du réservoir.

Ces appareils sont fort simples, ils servent à la fois de chaudière et de réservoir. Lorsque l'établissement de bains ne comporte de baignoires qu'au rez-de-chaussée, l'appareil est installé à ce niveau. On prend toutefois la précaution de le surélever un peu. Mais, s'il y a des baignoires dans les étages, on est obligé de placer l'appareil un peu au-dessus des baignoires les plus élevées, et, par suite, d'avoir un foyer et un service de charbon dans un étage, ce qui est incommode et quelquefois dangereux.

Si aux bains ordinaires on doit joindre des bains de vapeur, on établit, en avant du réservoir d'eau chaude, une petite chaudière, à foyer intérieur, par exemple, et on fait arriver la fumée dans l'ancien foyer dont on supprime la grille. La transformation coûte très peu et la dépense de combustible se réduit au minimum.

1053. On emploie quelquefois pour le chauffage de l'eau des bains une chaudière en partie horizontale et en partie verticale.

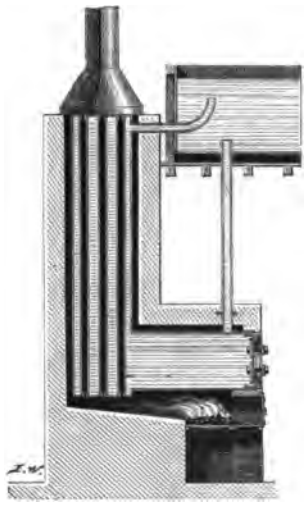


Fig. 606.

Le foyer est placé à la partie inférieure et la fumée s'échappe par une série de tuyaux qui passent au milieu de l'eau sur une assez grande hauteur. On facilite l'arrivée de l'eau autour du foyer au moyen d'un tube spécial.

On dispose parfois la chaudière dans un fourneau en maçonnerie et le réservoir d'eau chaude est placé latéralement et au-dessus (fig. 606). La partie horizontale de la chaudière communique avec le bas du réservoir d'eau et le sommet de la chaudière avec sa partie haute. L'eau chaude passe de la chaudière dans le réservoir, tandis que l'eau froide descend du réservoir dans la chaudière. Le départ du tuyau de descente est à quelques centimètres au-dessus du fond du réservoir, afin de laisser une chambre pour le dépôt des matières en suspension dans l'eau et éviter leur introduction dans la chaudière.

1054. Chaudière Bouillon. — Bouillon et Muller, afin de réduire les frais d'établissement et de n'avoir pas de joints exposés aux flammes, ont fait des chaudières en fonte, en forme de cloche (fig. 607), et munies de longues tubulures sortant du fourneau. Les départs de fumée sont à la base et on réserve un passage direct au sommet. Le nettoyage intérieur se fait au moyen de tampons placés sur la face supérieure. La chaudière renferme très peu d'eau et présente une grande surface dans un petit espace.

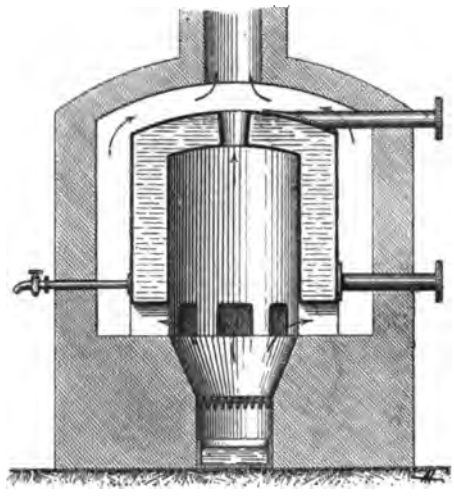


Fig. 607.

Il est difficile de régler bien convenablement la section de passage de la fumée, au sommet de la cloche. Si le passage est trop grand, tous les gaz de la combustion s'échappent par cette ouverture et la surface extérieure est peu utilisée ; s'il est trop réduit, c'est alors la surface intérieure qui est mal utilisée.

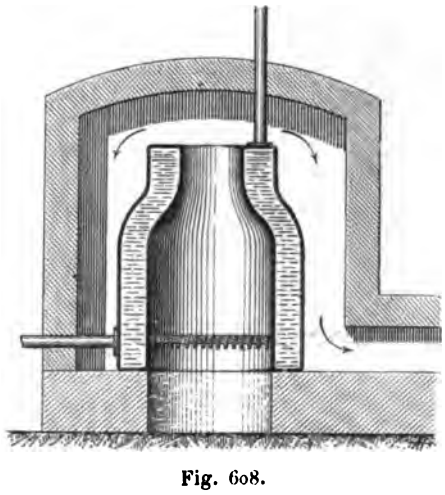
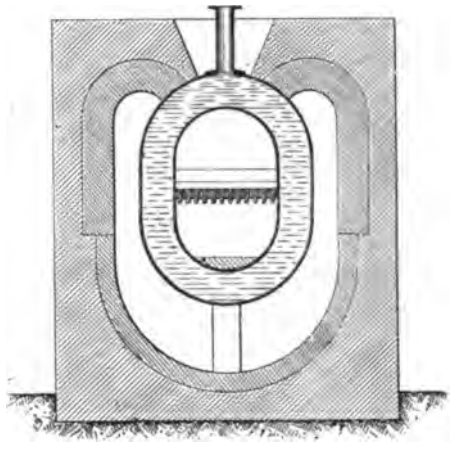


Fig. 608.

1055. Chaudière Duvoir. — Léon Duvoir, qui a établi de nombreux chauffages à eau chaude, avait adopté une chaudière en tôle (fig. 608) dont la disposition se rapproche de la précédente. La construction présente

peut-être quelques difficultés à cause de la forme un peu compliquée, mais cet appareil donne de bons résultats pour le service spécial qu'on lui demande.



Les produits de la combustion sortant du foyer intérieur chauffent la paroi extérieure, avant de se rendre à la cheminée.

Le nettoyage est à peu près impossible, mais cette chaudière convient cependant pour les chauffages à eau chaude, où c'est toujours sensiblement la même eau qui est employée.

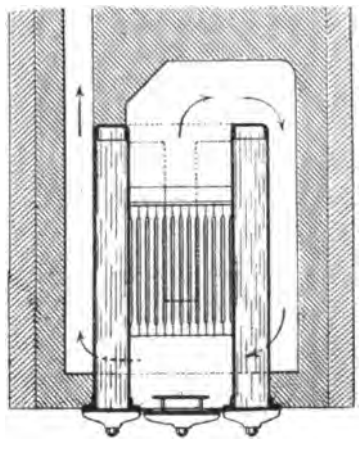


Fig. 609.

1056. Chaudière horizontale. — On emploie fréquemment pour le chauffage des serres un appareil très simple qui n'est autre chose qu'une chaudière à foyer intérieur du type Lancashire (fig. 609). Seulement, afin de donner plus de hauteur au foyer, sans augmenter la largeur du fourneau, on a fait les corps métalliques extérieur et intérieur de forme elliptique. La fumée, parcourt d'abord le corps intérieur, puis enveloppe toute la surface extérieure, et se rend enfin à la cheminée.

Des tampons démontables, placés sur la face extérieure de la chaudière, permettent le nettoyage intérieur.

Ces chaudières se font généralement en cuivre rouge pour les serres. Comme elles ont peu de pression à supporter, on donne à leurs parois une faible épaisseur, et leur prix de revient n'est pas trop élevé.

Quand les dimensions deviennent un peu plus fortes, on peut les faire en tôle de fer. Il est utile de prendre les mêmes précautions que dans l'installation des chaudières à vapeur, afin d'éviter les altérations et les corrosions. Il importe beaucoup de ne pas mettre les joints dans le feu, afin qu'ils ne soient pas exposés à être détruits rapidement.

1057. Chaudière à carneaux intérieurs. — On construit depuis plusieurs années des chaudières en tôle soudée,

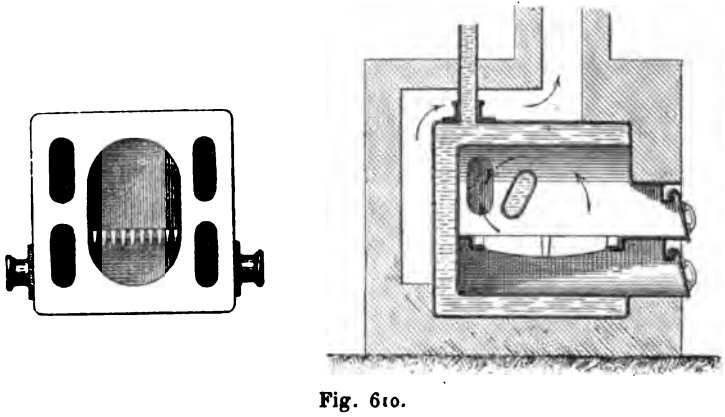


Fig. 610.

auxquelles on donne les formes les plus variées. La chaudière horizontale de ce système (fig. 610) est à section rectangulaire avec angles arrondis, à foyer intérieur et à bouilleur transversal. Latéralement, elle est pourvue de quatre carneaux intérieurs, deux à droite et deux à gauche. Les deux carneaux supérieurs partent du fond du foyer et débouchent sur la façade de la chaudière. Les deux carneaux inférieurs traversent la chaudière de part en part dans le sens de sa longueur. La chaudière est disposée dans un fourneau en maçonnerie, et on laisse un faible intervalle entre la brique et la tôle pour le passage de la fumée qui se rend à la cheminée.

La circulation des flammes s'effectue d'abord le long du foyer et autour du bouilleur. Au fond du foyer, les produits de la combustion se divisent en deux courants qui passent, l'un dans le carneau de droite, l'autre dans celui de gauche. Arrivés à l'avant du fourneau, ils descendent chacun dans le carneau inférieur correspondant, le parcourent dans toute sa longueur, circulent ensuite autour de la chaudière et se réunissent enfin dans la cheminée.

L'eau à chauffer arrive à la base par deux tubulures latérales, disposées symétriquement et l'eau chaude sort par la tubulure placée au sommet de la chaudière.

Des trous de bras, fermés par des autoclaves, sont réservés pour permettre l'enlèvement des incrustations.

La circulation de l'eau et des gaz de la combustion est en partie méthodique; comme, de plus, les flammes circulent dans des conduits métalliques baignés par l'eau, on conçoit que l'on puisse obtenir une utilisation assez satisfaisante.

1058. Chaudière verticale à bouilleurs croisés. — Ce système de chaudière est analogue à celui décrit (**698-699**), avec cette différence que les bouilleurs sont en général très inclinés.

Souvent, on dispose le foyer pour permettre d'emmagasiner une certaine quantité de combustible, et de ne surveiller le feu qu'à des intervalles éloignés.

1059. Indépendamment des types de chaudières que nous venons de décrire on emploie aussi pour le chauffage des serres des chaudières à petits éléments analogues aux générateurs multitububaires et aux économisers. Nous reviendrons sur ce genre de chaudières dans le chapitre relatif au chauffage des édifices et habitations, par circulation d'eau chaude.

1060. Surface de chauffe des chaudières à eau chaude. — Les dimensions d'une chaudière à eau chaude se calculent comme celles d'un générateur de vapeur.

Les conditions de transmission de chaleur sont les mêmes que pour les générateurs, seulement la température du liquide est habituellement plus basse dans les chaudières à eau. On admet,

en général, que chaque mètre carré de surface absorbe un nombre de calories correspondant à la production de 12 kilogr. de vapeur environ, soit $12 \times 650 = 7800$ calories par mètre carré. On prendra donc un chiffre compris entre 7 000 et 8 000 calories.

Pour les petites chaudières qu'on emploie quand on est gêné par la place, et dans lesquelles on utilise surtout le rayonnement direct, on peut admettre, au besoin, un nombre de calories absorbées correspondant à une production de 30 à 40 kilogr. de vapeur, soit de 20 000 à 25 000 calories par mètre carré. Mais l'utilisation est moindre que dans une chaudière présentant un développement de paroi plus étendu.

La capacité des chaudières à eau est ordinairement réduite autant que possible, afin que la mise en train ne soit pas trop longue, car on conçoit que plus le volume de liquide à chauffer sera important, plus il faudra de temps pour élever sa température.

CHAUFFAGE DE L'EAU PAR CIRCULATION.

1061. Chauffage de l'eau par circulation. — Un mode de chauffage très employé est le chauffage par circulation qui permet, au moyen de tuyaux convenablement disposés, de transporter la chaleur à d'assez grandes distances du foyer, pour le chauffage de postes d'eau dans une habitation, le service des bains, etc. On peut, par ce procédé, distribuer l'eau chaude à tous les étages et avoir la chaudière et le foyer dans la cave. On diminue ainsi les chances d'incendie et l'approvisionnement de charbon en même temps que l'installation et le service sont rendus plus faciles.

Le procédé de chauffage par circulation d'eau est appliqué dans les locaux habités, comme nous le verrons plus loin.

Le fonctionnement d'un chauffage par circulation est basé sur le mouvement qui se produit entre deux tuyaux verticaux communiquant ensemble et remplis par des fluides de densité différente.

Ainsi lorsque le sommet d'une chaudière M (fig. 611) est en communication directe avec un réservoir supérieur R par un

tuyau AB, si on relie le réservoir avec le bas de la chaudière par un second tuyau CD, plus ou moins développé et exposé au refroidissement, la densité de l'eau, relativement froide de la colonne CD étant plus forte que celle de l'eau chaude de la colonne AB, il se produira nécessairement un mouvement dans le sens ABCD.

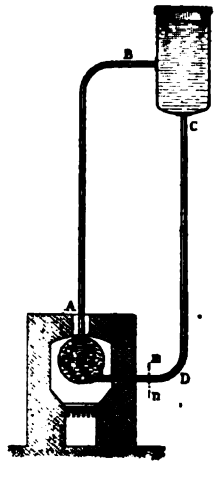


Fig. 611.

Le phénomène est analogue à celui qui se produit dans les cheminées, et la vitesse de circulation peut se calculer approximativement de la manière suivante.

Soient :

H la hauteur commune des deux colonnes;

d la densité de l'eau dans la colonne CD à la température t;

d_1 la densité dans la colonne AB, à la température t_1.

Si les températures sont au-dessus de 4°, ce qui est toujours le cas en pratique, du moment que t_1 est plus grand que t, il en résulte que d_1 est plus petit que d.

Calculons, dans les deux sens, les pressions sur la tranche mn de section Ω dans la partie horizontale du tuyau de circulation revenant à la chaudière. Nous négligeons les pressions qui s'exercent au-dessus du niveau B, puisqu'elles agissent à la fois et également sur les deux colonnes BA et CD, et disparaissent dans le calcul.

Du côté du tuyau de retour CD, on a :

$$F = \Omega H d.$$

Dans le sens opposé BA

$$f = \Omega H d_1$$

et la différence de pression $F - f$, en vertu de laquelle se produit le mouvement, est :

$$F - f = \Omega H(d - d_1)$$

$F-f$ représente l'excès de pression évalué en tonnes de 1 000 kilogrammes, si H et Ω sont évalués en mètres.

Pour déterminer la hauteur d'eau E à la densité d qui produirait le même excès de pression, il suffit d'écrire l'égalité :

$$\Omega E d = \Omega H(d - d_1)$$

d'où

$$E = H\left(1 - \frac{d_1}{d}\right).$$

E étant la hauteur d'une colonne du liquide qui s'écoule faisant équilibre à l'excès de pression $F-f$.

Cette valeur de E est la charge en hauteur d'eau qui produirait le mouvement ; s'il n'y avait pas de résistances la vitesse serait donc donnée par la formule

$$V = \sqrt{2gE} = \sqrt{2gH\left(1 - \frac{d_1}{d}\right)}$$

C'est, sous une autre forme, la formule trouvée dans la théorie du tirage des cheminées (T. Ier, **420**).

L'eau, comme les gaz, éprouve, en circulant dans les conduites, des résistances dues aux frottements, aux changements de section et de direction qui diminuent la vitesse et produisent une perte qu'on peut désigner par R. La vitesse réelle sera donnée par la formule (**204**).

$$V = \sqrt{\frac{2gE}{1+R}} = \sqrt{\frac{2gH}{1+R}\left(1 - \frac{d_1}{d}\right)}.$$

Comme la densité de l'eau liquide est toujours très voisine de l'unité, puisqu'elle varie à peine de 0.03 entre 0° et 80°, on peut approximativement faire au dénominateur $d = 1$, et on a plus simplement :

$$E = H(d - d_1)$$

et

$$V = \sqrt{\frac{2gH}{1+R}(d - d_1)}.$$

Ces formules simplifiées peuvent être souvent utilisées.

La détermination de la perte de charge pour des tuyaux de différentes natures et de divers diamètres a fait l'objet de nombreuses expériences. D'après les résultats trouvés, on a proposé diverses formules pour exprimer la valeur de cette perte. Une des plus employées est celle donnée par de Prony :

$$E - e = \frac{4L}{D}(av + bv^2).$$

E est la charge à l'origine de la conduite ;
e la charge à l'autre extrémité ;
$E - e$ la perte de charge ;
L la longueur développée de la conduite ;
D le diamètre de la canalisation ;
v la vitesse de circulation de l'eau ;
a coefficient égal à 0,0000173 ;
b — — 0,000348.

La formule qui précède affecte la forme binôme, mais, dans la plupart des cas, on peut négliger le terme du premier degré de la vitesse v et obtenir une approximation suffisante, à la condition de modifier convenablement le coefficient b du terme du second degré, pour tenir compte dans une certaine mesure de la partie négligée. On a ainsi une formule monôme analogue à celle employée pour les gaz

$$E = \frac{4KL}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad \text{ou} \quad \frac{D}{2} \times \frac{E}{L} = \frac{K}{g} v^2,$$

dans laquelle on néglige la charge e à l'extrémité de la conduite et qui correspond à la vitesse v. Généralement, cette charge e ne représente qu'une fraction peu importante de la charge E et peut sans inconvénient être négligée à côté de cette dernière.

K est un coefficient qui varie quelque peu avec la vitesse de l'eau et surtout avec le diamètre du tuyau.

On peut mettre la formule sous une autre forme

$$\frac{DJ}{2} = b_1 v^2.$$

en posant

$$\frac{E}{L}=J.$$

J représente la perte de charge par mètre.

D'après Darcy, le terme b_1 dépend du diamètre de la conduite et sa valeur est fournie par la relation

$$b_1=0,000507+\frac{0,00001294}{D}.$$

Pour les diamètres suivants on a :

D =	0,01	0,02	0,03	0,05	0,10	0,20	0,50	1,00
$1000\,b_1$ =	1,801	1,154	0,933	0,765	0,635	0,571	0,532	0,519

Ce coefficient b_1 varie aussi avec la nature de la conduite.

Pour les tuyaux en tôle enduits de bitume, la valeur de b_1 donnée ci-dessus doit être réduite aux deux tiers. Au contraire, pour les tuyaux recouverts de dépôts rugueux, elle doit être doublée. Nous renvoyons aux traités spéciaux pour l'étude détaillée des lois de l'écoulement de l'eau.

1062. Calcul d'une circulation d'eau chaude. — Les formules établies plus haut permettent de résoudre la question principale qui se pose dans les applications :

Quel diamètre faut-il donner aux tuyaux d'une circulation d'eau chaude pour effectuer un chauffage déterminé?

Supposons qu'il s'agisse de chauffer un réservoir renfermant un poids P d'eau qu'il faut porter en une heure de la température θ à la température T.

Le projet de l'installation étant arrêté, on connaît la longueur L de la circulation, la hauteur H des colonnes d'ascension et de retour d'eau. On se donne les températures t_1 et t de l'eau à la sortie de la chaudière et du réservoir.

La quantité de calories C à fournir est théoriquement égale à :

$$C=P(T-\theta).$$

Mais comme il y a toujours des pertes inévitables par refroidissement et rayonnement, il convient de fournir un nombre

de calories supplémentaires que nous évaluons à n p. 100 du chiffre utile, la quantité totale de chaleur nécessaire devient :

$$C_1 = P(T - \theta)(1 + n).$$

Il est nécessaire de faire passer dans le réservoir une quantité d'eau chaude qui, en se refroidissant de t_1 à t, puisse fournir C_1 calories. Le poids d'eau Q à faire passer par seconde est donné par l'équation

$$Q \times 3600 \times (t_1 - t) = C.$$

d'où

$$Q = \frac{C_1}{3600 \times (t_1 - t)}.$$

La charge E qui produit le mouvement se détermine au moyen de la relation

$$E = H\left(1 - \frac{d_1}{d}\right)$$

les densités d_1 et d aux températures t_1 et t peuvent être calculées, mais comme le coefficient de dilatation de l'eau varie avec la température, il est préférable de les prendre dans les tables.

Tableau des densités de l'eau, d'après Despretz.

TEMPÉRATURE.	VOLUME.	DENSITÉ.	TEMPÉRATURE.	VOLUME.	DENSITÉ.
— 9°	1,00163	0,99837	50°	1,01205	0,98809
— 5	1,000699	0,99930	55	1,01445	0,98575
0	1,000127	0,99987	60	1,01698	0,98330
4	1	1	65	1,01967	0,98070
10	1,000268	0,99973	70	1,02255	0,97795
15	1,000875	0,99912	75	1,02562	0,97502
20	1,00179	0,99821	80	1,02885	0,97196
25	1,00293	0,99708	85	1,03225	0,96876
30	1,00433	0,99568	90	1,03566	0,96557
35	1,00593	0,99380	95	1,03925	0,96223
40	1,00773	0,99233	100	1,04313	0,95863
45	1,00985	0,99024			

Ayant déterminé E et Q, nous allons maintenant calculer le diamètre de la conduite; nous avons pour cela deux équations.

L'une :

$$\frac{DJ}{2} = b_1 v^2$$

dans laquelle on néglige, devant E, la charge e correspondant à la vitesse d'écoulement. Cette charge étant ordinairement faible on ne tient compte que de E et le rapport J ou $\frac{E}{L}$ représente sensiblement la perte de charge par mètre de tuyau.

En second lieu, nous savons que le volume d'eau qui s'écoule pendant l'unité de temps est égal au produit de la section de la conduite par la vitesse de circulation

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v.$$

En éliminant v entre ces deux équations, on arriverait à déterminer la valeur de D. Mais, en opérant l'élimination et en remplaçant b_1 par sa valeur d'après Darcy,

$$b_1 = 0{,}000507 + \frac{0{,}00001294}{D}$$

on tombe sur une équation du sixième degré. Comme les valeurs de b_1 ne varient que de 0,000765 à 0,000532 pour des diamètres de conduite compris entre $0^m{,}05$ et $0^m{,}50$, on peut pendre pour b_1, une valeur moyenne, $b'_1 = 0{,}000648$ et en effectuant les opérations numériques, on arrive à la formule plus simple de Phillips :

$$D = 0{,}334 \sqrt[5]{\frac{Q^2}{J}} \quad \text{ou} \quad D = \frac{1}{3} \sqrt[5]{\frac{Q^2}{J}}.$$

Inversement, lorsque le diamètre du tuyau de circulation est donné, il est facile de déterminer le débit en se servant des deux relations qui nous ont permis de calculer D et dans lesquelles on élimine v, afin d'obtenir une valeur de Q en fonction de J et de D.

Les calculs numériques étant faits, il vient :

$$Q = 15,4\sqrt{JD^5}.$$

Il ne faut pas perdre de vue que, dans les diverses formules employées, on a négligé la charge e correspondant à la vitesse v de circulation du fluide et qu'on a pris pour b_1 une valeur moyenne.

En portant dans les équations la valeur de b_1 correspondant au diamètre trouvé et prise dans la table de de Prony, puis en tenant compte de la charge e génératrice de la vitesse, on reconnait si l'on peut conserver les valeurs trouvées ou s'il y a lieu de les modifier quelque peu.

1063. Pour bien faire comprendre l'usage de ces formules, nous allons donner une application numérique.

Déterminer le diamètre D *d'une circulation d'eau chaude, en supposant qu'on ait à entretenir à* 85° *un réservoir de bains qui doit débiter par heure* 2000 *litres d'eau.* L'eau chaude dépensée est remplacée au fur et à mesure par de l'eau froide à 5°. La quantité de chaleur à fournir par heure est

$$M = 2000^k(85° - 5°) = 160\,000 \text{ calories}.$$

En estimant les pertes de chaleur à 25 °/₀ soit 40 000 calories, il faudra fournir 200 000 calories. Cette chaleur est apportée par l'eau de la chaudière qui arrive par la colonne montante à 95° et se refroidit à 85°, soit de 10°.

Le poids d'eau qui doit passer par seconde pour abandonner, dans ces conditions, 200 000 calories par heure est donné par la relation

$$P \times 10 \times 3600 = 200\,000$$
$$P = 5^k,55 \text{ ou, en mètres cubes, } Q = 0^{m^3},00555.$$

Supposons maintenant le réservoir placé à 5 mètres au-dessus de la chaudière H = 5 mètres. Admettons 2,40 comme longueur de circulation horizontale en haut et en bas, soit 4,80 mètres en tout, on a :

$$L = 2H + 4,80 = 14^m,80.$$

On trouve dans les tables les densités de l'eau aux différentes températures pour

$$t_1 = 95^\circ \qquad d_1 = 0{,}96223$$
$$t = 85^\circ \qquad d = 0{,}96876$$

On pourrait prendre $E = H(d - d_1) = 0{,}03265$; mais, pour obtenir un résultat plus approché, appliquons la formule

$$E = H\left(1 - \frac{d_1}{d}\right)$$

on a alors :

$$E = 5\left(1 - \frac{0{,}96223}{0{,}96876}\right) = 0^m{,}0370$$

d'où la valeur de J

$$J = \frac{E}{L} = \frac{0{,}0370}{14.80} = 0^m{,}00228.$$

Le diamètre D peut se calculer par la formule de Phillips

$$D = \frac{1}{3}\sqrt[5]{\frac{Q^2}{J}} = \frac{1}{3}\sqrt[5]{\frac{(0{,}00555)^2}{0{,}00228}} = 0{,}143.$$

La formule $Q = \frac{\pi D^2}{4} v$ donne la valeur de v

$$v = 0{,}346.$$

Dans la valeur de $J = \frac{E - e}{L}$ nous avons négligé la valeur de $e = \frac{v^2}{2g} = 0{,}00610$.

En substituant cette valeur de v, on trouve en reprenant les calculs :

$$J = 0{,}00186$$
$$D = 0{,}147.$$

En pratique, on aurait forcé le premier diamètre trouvé et on aurait obtenu du premier coup une valeur convenable.

$$D = 0.15.$$

Si la longueur L était de 150 mètres, on trouverait par un calcul semblable

$$D = 0,22 \text{ et on prendrait } D = 0,225.$$

Il suffit d'un abaissement de température légèrement plus fort dans le réservoir et la colonne de retour pour diminuer très notablement le diamètre des tuyaux. Ainsi, supposons que la température puisse s'abaisser à 75° dans le réservoir, la différence de température ($95 - 75 = 20°$) étant doublée, le volume Q est réduit à moitié $Q = 0,002777$. On trouve ensuite

$$J = 0,00426 \text{ et } D = 0,094.$$

Le diamètre est les deux tiers de celui que nous trouvions dans le premier calcul. Cette réduction tient à deux causes, à la diminution du volume d'eau à écouler et à la vitesse plus grande résultant d'une plus grande différence de température entre les deux colonnes. Ces résultats expliquent comment, en pratique, on arrive à des résultats suffisants avec des circulations de diamètres très différents. Un refroidissement un peu plus grand suffit souvent pour établir la compensation.

Cependant, il y a toutefois une limite qu'il convient de ne pas dépasser.

1064. On peut encore avoir à résoudre le problème suivant :

Un appareil étant établi et connaissant les températures des deux colonnes d'eau, calculer la vitesse de circulation et le volume qui passe dans un temps donné.

Supposons :

$$H = 10^m, \quad t_1 = 90°, \quad t = 60°, \quad L = 25^m \quad \text{et} \quad D = 0,10.$$

On néglige les pertes de charge résultant des accroissements de section dans la chaudière et dans le réservoir.

Les densités d_1 et d données par les tables sont pour les températures t_1 et t

$$_1=90^\circ \qquad d_1=0{,}965$$
$$t=60^\circ \qquad d=0{,}983$$

on trouve

$$E=H(d-d_1)=10(0{,}983-0{,}965)=0{,}18$$

Comme la hauteur e génératrice de la vitesse v est presque toujours négligeable à côté de E, on a :

$$J=\frac{E}{L}=\frac{0{,}18}{25}=0{,}0072.$$

Le débit Q sera donné par la formule de Phillips :

$$Q=15{,}4\sqrt[2]{0{,}0072\times 0{,}10^5}$$
$$Q=15{,}4\times 0{,}00027=0^{m^3}{,}0042.$$

La vitesse d'écoulement correspondante sera :

$$v=\frac{Q}{\Omega}=0^m{,}54.$$

1065. Postes d'eau chaude dans une habitation. — Pour alimenter des postes d'eau, on peut disposer dans un fourneau une chaudière H (fig. 612) dont le sommet communique par un tuyau C avec un réservoir M établi en contre-haut de la chaudière. La partie inférieure de cette dernière et le bas du réservoir M sont mis en communication par un tuyau L sur lequel est branché le tuyau B amenant l'eau froide, distribuée dans une caisse à flotteur A placée généralement dans les combles. Le tuyau L est muni d'un robinet de vidange K, qu'on ouvre lorsqu'on veut nettoyer la chaudière.

Du sommet du réservoir M part une canalisation NND, destinée à alimenter d'eau chaude les divers postes établis dans la maison. Cette canalisation porte à son sommet un tube ouvert I servant à évacuer l'air des appareils et tuyaux d'eau chaude. La hauteur de ce tuyau I peut être réglée de telle sorte qu'il y ait écoulement d'eau chaude toutes les fois que, par suite d'un excès de chauffage, la température de l'eau dans NNI dépasse un degré déterminé. L'eau chaude qui s'écoule se trouve rem-

placée automatiquement par de l'eau froide empruntée au réservoir des combles.

Lorsque le foyer est en service, l'eau échauffée dans la chaudière monte dans le réservoir M et la circulation s'établit par MNDL et par ML. On peut voir sur la figure 612 qu'il n'est pas possible de vider le réservoir M par les robinets des étages et que, par suite, la circulation CML ne peut jamais être coupée. Il en résulte que la chaudière est toujours alimentée et se trouve moins exposée à un coup de feu que dans le cas où le réservoir d'eau chaude est placé en contre-haut des postes à desservir.

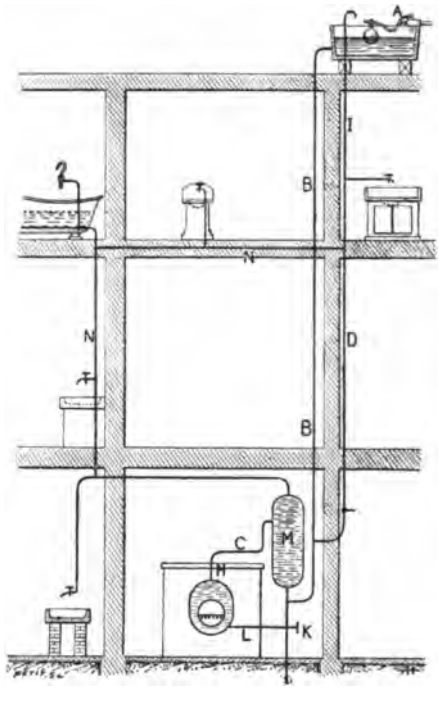


Fig. 612.

Pour conserver de l'eau chaude après l'extinction du foyer il suffit de fermer le robinet placé au bas du tuyau D pour arrêter la circulation dans les étages ; l'eau que renferme le réservoir M peut alors rester chaude pendant longtemps, car elle ne peut plus se refroidir en circulant dans les tuyaux de distribution. Dans ces conditions, lorsqu'on ouvre le robinet d'un poste, il s'écoule d'abord de l'eau froide, mais l'eau chaude ne tarde pas à venir. Quand on veut pouvoir prendre d'un seul coup une forte quantité d'eau chaude, il faut disposer sur le tuyau D un clapet de reteuue s'ouvrant seulement de haut en bas ; sans quoi on serait obligé de fermer le robinet de la conduite D pour empêcher qu'il ne puisse arriver aux robinets alimentés par le tuyau NN, de l'eau froide venant du

réservoir des combles, avant que toute l'eau chaude du réservoir M ne soit dépensée.

1066. Si la facilité avec laquelle circule l'eau chaude rend son emploi commode pour transmettre la chaleur à distance, la masse et la grande chaleur spécifique de ce fluide font que, une fois échauffé, il se refroidit lentement. Cette stabilité de température peut devenir gênante dans beaucoup de cas, mais est utile dans quelques autres.

On utilise cette propriété de l'eau pour la distillation des parfums qui se développent à certaines températures et se détruisent à des températures un peu plus élevées. Nous avons indiqué une autre application (**1002**) dans le séchage de certains produits, qui s'altèrent dès qu'ils sont en contact avec des corps chauffants dont la température dépasse un degré déterminé, 60° par exemple.

CHAUFFAGE INDIRECT.

1067. Chauffage au bain-marie. — Un moyen de chauffer un liquide par l'intermédiaire d'un autre liquide est le chaufffage dit au bain-marie (fig. 613). Le vase contenant le liquide à chauffer est plongé lui-même dans un autre liquide qui est chauffé par un foyer et qui sert de véhicule de chaleur. On emploie ce mode de chauffage lorsqu'on veut être sûr que la température du liquide chauffé ne dépassera pas une température déterminée. Si le liquide auxiliaire est l'eau, on peut ainsi élever la température du liquide à chauffer à 80° et même 90°, mais jamais à 100°, à moins de fonctionner sous pression.

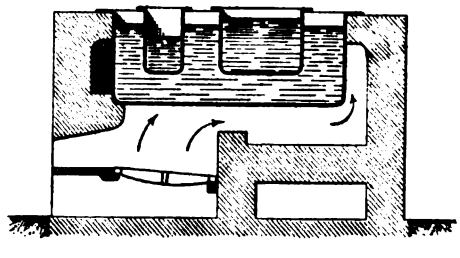


Fig. 613.

Si on a besoin d'une température plus élevée, on remplace l'eau du bain-marie par de l'huile ou des dissolutions salines.

1068. Chauffage des vins. — Pour assurer la conservation du vin qui, en vieillissant, est exposé à des maladies dues

à l'action de ferments, M. Pasteur recommande de chauffer ce liquide au bain-marie et à l'abri de l'air, de manière à le porter progressivement à une température suffisante pour amener la destruction des ferments. Le vin est ensuite refroidi, toujours à l'abri de l'air, et ramené à la température ambiante.

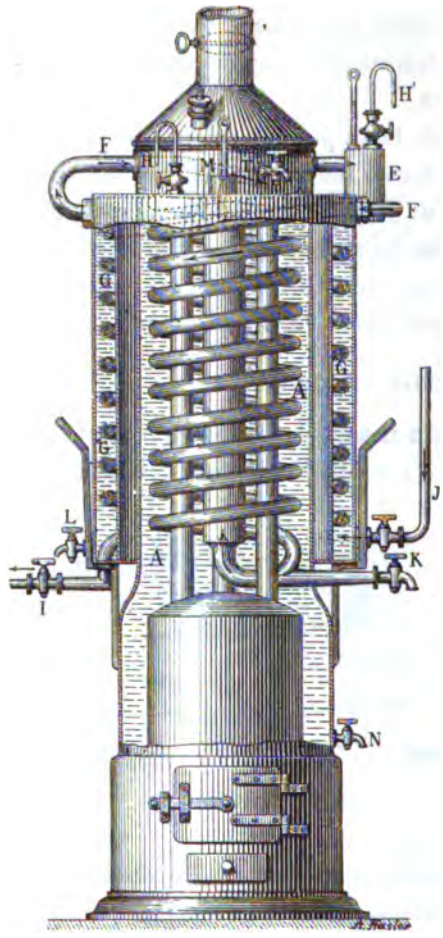


Fig. 614.

M. *Bréhier* a construit un appareil pour effectuer industriellement cette opération, désignée sous le nom de *pasteurisation des vins*. Cet appareil (fig. 614) comprend une chaudière verticale ou *bain-marie* placée sur un fourneau et un récipient annulaire servant de réfrigérant.

La chaudière verticale est pourvue d'une chambre intérieure de combustion du sommet de laquelle partent plusieurs tubes verticaux servant de conduits de fumée et aboutissant à la cheminée. Au-dessus de la chambre de combustion se trouve disposé un serpentin que parcourt le vin à chauffer.

Le récipient annulaire entoure la partie haute de la chaudière et renferme un serpentin dans lequel descend le vin à refroidir. Le liquide servant au refroidissement est précisément le vin à chauffer qui entre dans l'appareil et provient d'un réservoir placé en contre-haut.

Pour effectuer une opération, on remplit d'eau le bain-marie jusqu'à la hauteur du trop-plein T et on commence le chauffage. On pousse le feu jusqu'à ce que le thermomètre M du bain-marie marque une température de quelques degrés plus élevée que celle à laquelle le vin doit être porté. Si le vin doit être chauffé à 55°, on porte le bain-marie à 62°, par exemple. Lorsque l'eau a atteint cette température, on peut introduire le vin dans l'appareil. On ouvre les robinets d'air H et H', le robinet I de sortie du vin et enfin le robinet J d'arrivée de ce liquide. Le vin pénètre dans le récipient annulaire qu'il remplit peu à peu, arrive ensuite dans le serpentin chauffé par le bain-marie. Il remonte par le tube central renflé et après avoir ainsi acquis la température à laquelle il doit être amené, il vient par le tube F dans l'éprouvette E munie d'un thermomètre. Il passe ensuite dans le serpentin du vase annulaire, se refroidit progressivement et sort par le robinet I, sensiblement à la température du vin affluent.

On a le soin de fermer les robinets d'air H et H' aussitôt que le vin tend à s'écouler par le siphon qui les surmonte.

Lorsque le vin, à son passage dans l'éprouvette E, n'atteint pas la température à laquelle il doit être porté, cela peut provenir de deux causes ; ou bien c'est que le feu est trop faible, dans ce cas il faut l'activer ; ou bien c'est que le liquide circule trop rapidement, et alors, on ferme plus ou moins le robinet de sortie. Lorsqu'au contraire le vin est trop chauffé, on augmente la quantité de liquide qui passe dans l'appareil ou bien on modère le feu.

La chaudière, le serpentin central et le vase annulaire sont chacun munis de robinets qui permettent la vidange à la fin des opérations. Il est utile de remarquer que le vin qui reste dans le vase annulaire n'a été chauffé qu'en partie et qu'il ne faut pas le mélanger avec celui qui a subi le traitement complet.

1069. Chauffage des chaufferettes de wagons par immersion dans l'eau chaude. — Les chaufferettes ou bouillottes utilisées pendant la saison d'hiver au chauffage des voitures de voyageurs sont, à la Compagnie de l'Est, chauffées par immersion dans un bain d'eau chaude. Plusieurs Compa-

gnies emploient un procédé différent que nous décrirons plus loin(**1074**).

L'appareil (fig. 615) établi par M. Regray, à la gare de l'Est, se compose de deux tambours parallèles, dont les axes sont horizontaux et sur lesquels est appliquée une double chaîne sans fin. Les maillons correspondants de la chaîne servent à porter des châssis qui reçoivent les bouillottes. Celles-ci, par suite du mouvement de rotation imprimé aux tambours, viennent plonger successivement dans une citerne remplie d'eau chaude. Pour chauffer cette eau, on y injecte de la vapeur au moyen d'un tuyau descendant jusqu'au fond de la citerne. L'immersion de chaque bouillotte est de cinq minutes et s'opère d'une manière continue. La noria porte à la fois un certain nombre de chaufferettes 24, par exemple; on ajoute et on retire une bouillotte toutes les 12 à 13 secondes. Un appareil peut servir à chauffer environ 300 bouillottes par heure.

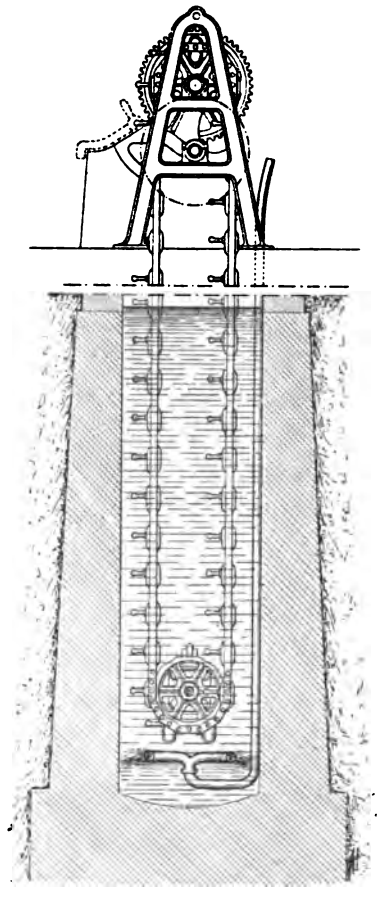


Fig. 615.

1070. Quantité de chaleur à fournir pour le chauffage d'une bouillotte. — Nous admettrons que les bouillottes renferment 11 litres d'eau et que la surface de leurs parois soit égale à $0^{mq},50$. L'eau de la citerne est maintenue à 100° environ par une injection de vapeur d'eau. Nous supposons que les bouillottes sont à la température de 0° avant

d'être plongées dans l'eau chaude et sont retirées après cinq minutes d'immersion.

En admettant que le coefficient de transmission Q soit égal à 360, par exemple, nous allons voir quelle peut être la température T de la bouillotte à la sortie du puits de chauffage.

En écrivant que la quantité de chaleur reçue par l'eau de la bouillotte est égale à celle qui traverse les parois pendant les cinq minutes d'immersion, on a la relation

$$11 \times T = 360 \times 0{,}50 \times \left(100 - \frac{T}{2}\right) \times \frac{5}{60}$$

d'où

$$T = \frac{1500}{18^\circ{,}5} = 81^\circ.$$

1071. Chauffage par mélange d'eau. — Ce procédé consiste à mélanger au liquide froid de l'eau chaude en proportions convenables pour obtenir une température déterminée. On l'applique principalement pour les bains. On fait arriver dans les baignoires, à la fois de l'eau chaude à 70° ou 80° et de l'eau froide à la température de 10° à 15°. On règle l'arrivée des deux liquides de manière à obtenir une température finale de 32°. Pour que la température de l'eau du bain soit aussi régulière que possible, on adapte au bec du robinet d'eau chaude un ajutage ou entonnoir cylindrique qui permet de faire descendre l'eau chaude jusqu'au fond de la baignoire. On opère ainsi dans le but d'assurer convenablement le mélange des liquides chaud et froid, et de réduire le dégagement de buée pendant la préparation du bain.

1072. Chauffage par mélange de vapeur. — Ce mode de chauffage d'un liquide peut s'effectuer de deux manières différentes par barbotage ou par barboteur-injecteur.

1073. Chauffage des liquides par barbotage de vapeur. — Lorsqu'on peut mélanger la vapeur avec le liquide à chauffer, on dispose vers le fond du vase qui renferme ce liquide, un tuyau percé de très petits trous par lesquels on fait arriver la vapeur. Ce procédé est désigné sous le nom de chauffage par

barbotage. La transmission de chaleur s'effectue aussi simplement que possible, mais ce mode de chauffage n'est pas sans inconvénients. Ainsi, lorsque le liquide est froid, la condensation brusque de la vapeur produit dans le tuyau et dans la masse liquide des variations de pression qui amènent des changements de formes dans le tuyau, ainsi que des vibrations, des secousses, des claquements quelquefois très violents.

1074. Chauffage des chaufferettes de wagons par injection de vapeur. — Plusieurs Compagnies de chemin de fer chauffent l'eau de leurs bouillottes par une injection de vapeur. A cet effet, les bouillottes sont disposées en files horizontales superposées dans des caisses basculantes portées sur des chariots. Lorsqu'elles sont froides, on les transporte dans la salle de chauffage où se trouve établie une tuyauterie de vapeur portant un nombre de petits ajutages égal à celui des chaufferettes d'un chariot. On dresse la caisse, on introduit chaque ajutage dans l'ouverture d'une chaufferette, après que le bouchon de fermeture en a été retiré, puis on envoie de la vapeur jusqu'à ce que le réchauffage soit opéré. On ferme alors le robinet d'amenée de vapeur, on relève la tuyauterie, on replace les bouchons, on recouche la caisse et on enlève le chariot. Le groupement des chaufferettes sur les chariots facilite les opérations de chauffage et le service; il présente l'avantage de retarder le refroidissement, sauf pour le rang supérieur. On recouvre les chariots de couvertures de laine ou de corps mauvais conducteurs et on peut garder les bouillottes chaudes jusqu'au moment où on les introduit dans les compartiments des wagons.

1075. Chauffage par barboteur-injecteur. — Cet appareil (fig. 616), que l'on place à la partie inférieure des réservoirs dont on veut chauffer l'eau, se compose, comme l'injecteur Giffard, de deux cônes concentriques. Le cône intérieur sert à lancer le jet de vapeur destiné à produire l'entraînement dans le second. Celui-ci est muni de créneaux à sa base et se prolonge au delà de son sommet par un ajutage conique évasé. Le jet de vapeur lancé dans l'axe de l'appareil se mélange avec l'eau appelée par les créneaux du cône extérieur et, tout en se

condensant, imprime à ce liquide un mouvement d'entraînement très rapide.

L'arrivée de vapeur se produisant sans intermittence, la circulation est elle-même continue et l'eau chauffée par la vapeur

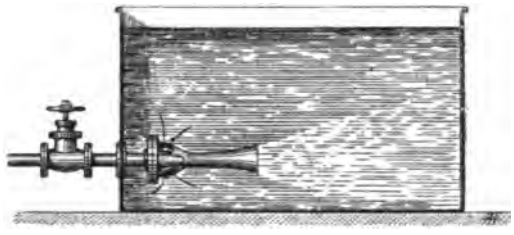


Fig. 616.

qui se condense est lancée dans la masse liquide du réservoir dont elle produit le chauffage. L'injecteur fonctionne sans bruit appréciable.

1076. Quantité de vapeur à condenser dans le chauffage par barbotage. — Soient P le poids de liquide à chauffer, c sa chaleur spécifique, θ sa température initiale, t la température à laquelle il faut le porter.

La chaleur utile à fournir est

$$Pc(t-\theta).$$

Soient W le poids de vapeur à condenser et T la température correspondant à la pression de la vapeur ; la chaleur abandonnée par la condensation est

$$W(606,5+0,305T-t)$$

et si ρ est le rendement

$$\rho W(606,5+0,305T-t)=Pc(t-\theta).$$

Si on a 1000 kilogr. d'eau à chauffer de 10° à 50° avec de la vapeur à 150° correspondant à la pression de 4 kg. environ, on a

$$P=1000 \qquad c=1 \qquad t=50^\circ \qquad \theta=10$$

et si on prend $\rho = 0,80$, on trouve

$$0,8\,W \times 602 = 40\,000^{cal}$$
$$W = 83^{kil},3.$$

Le chauffage de l'eau par un jet de vapeur est, malgré sa simplicité, assez peu employé. La vapeur, surtout celle qui provient de l'échappement des machines, renferme des matières étrangères et des graisses qui salissent l'eau chauffée et lui communiquent souvent une mauvaise odeur.

Ce procédé n'est pas applicable quand il s'agit de chauffer des dissolutions salines, car la condensation de la vapeur augmenterait la proportion d'eau que celles-ci renferment.

1077. Chauffage par transmission à travers une paroi métallique. — Le plus souvent le chauffage d'un liquide par la vapeur s'effectue par transmission. On a ainsi l'avantage de ne pas altérer le liquide chauffé par son mélange avec la vapeur. On emploie pour cette opération divers appareils, les doubles fonds, les faisceaux tubulaires et les serpentins dont nous avons vu de nombreux exemples dans les chapitres de la distillation et de l'évaporation.

1078. Calcul de la surface chauffante. — Soient :

T la température constante de la vapeur;
X la température du liquide variant de t_0 à t_1;
S la surface de chauffe;
Q le coefficient de transmission par heure;
Z la durée du chauffage en heures;
M la quantité de chaleur transmise par heure.

Pendant le temps dz, la transmission sera

$$dM = SQ(T - x)dz$$
$$dM = pc\,dx$$

p et c poids et chaleur spécifique du liquide.

De ces deux relations, on tire :

$$pc\,dx = SQ(T - x)dz \quad \text{ou} \quad pc\frac{dx}{T - x} = SQ\,dz$$

et, en intégrant depuis $x = t_0$ jusqu'à $x = t_1$, on obtient :

$$pc \log \text{nép} \frac{T - t_0}{T - t_1} = SQz.$$

Si on prend

$$z = (20') = 0{,}33 \qquad Q = 1000 \qquad p = 100 \qquad c = 1$$
$$T = 140^\circ, \qquad t_0 = 20^\circ, \qquad t_1 = 100^\circ$$

on trouve

$$S = \frac{100 \log \text{nép} \frac{120}{40}}{0{,}33 \times 1000} = 0{,}3 \times 2{,}30 \times 0{,}477 = 0^{mq}{,}332.$$

Si on effectuait le calcul en se basant seulement sur l'écart moyen des températures, on trouverait un résultat un peu plus faible, mais dont on peut se contenter dans la pratique.

Le calcul de la surface de chauffe se fait au moyen des coefficients de transmission qui ont été donnés dans l'étude des lois de la transmission (**124**). La formule générale est

$$M = SQ(T - \theta).$$

Nous avons vu qu'en chauffant par la vapeur un liquide qui n'est pas en ébullition, la valeur de Q variait de 750 à 1500 suivant la rapidité du mouvement des fluides et que, lorsque le liquide était en ébullition, ce coefficient pouvait atteindre 4500 à 5000.

Suivant le cas particulier, il faudra apprécier, dans ces limites, le nombre qu'il convient de choisir, en ayant soin de se tenir toujours plutôt au-dessous qu'au-dessus.

1079. Prenons un exemple :

Supposons qu'on ait à chauffer 2000 litres d'eau de 5° à 85° dans un réservoir de bains.

La chaleur utile à fournir est égale à :

$$2000(85 - 5) = 160\,000^{cal}$$

Admettons une perte de 25 p. 100, soit $\quad 40\,000$

La quantité de chaleur totale nécessaire sera $M = 200\,000^{cal}$

La température de la vapeur employée au chauffage est $T = 140°$; la température moyenne de l'eau est :

$$\theta = \frac{85+5}{2} = 45°.$$

La différence moyenne de température entre la vapeur et l'eau est :

$$T - \theta = 140 - 45 = 95°.$$

Prenons $Q = 1000$, puisqu'il s'agit d'eau non bouillante, et nous avons l'équation :

$$200\,000 = 1000 \times S \times 95$$

d'où :

$$S = \frac{200\,000}{95\,000} = 2^{mq},105.$$

Si on prend un serpentin formé de tuyaux de $0^m,05$ de diamètre, sa longueur sera donnée par la relation :

$$\pi DL = S \quad \text{ou} \quad 3,14 \times 0,05 \times L = 2,105$$

de laquelle on tire :

$$L = 13^m,40.$$

Dans un réservoir de $1^m,50$ de diamètre, on pourra mettre des spires de $1^m,30$ de diamètre moyen; leur développement linéaire sera de $4^m,08$ et il en faudra un nombre égal à $\frac{13,40}{4,08} = 3^m,28$ spires. On peut, si on le préfère, mettre 4 spires d'un diamètre moyen un peu plus faible ($1^m,07$ au lieu de $1^m,30$) ou augmenter le diamètre des tuyaux du serpentin pour ne conserver que 3 spires. Ce diamètre se détermine en posant l'équation

$$3 \times \pi D \times L = 3 \times \pi D \times 4,08 = 2^{mq},105$$

$$\pi D = \frac{2,105}{12,24} = 0,172$$

et par suite $D = 0,055$.

§ III

CHAUFFAGE DES SOLIDES.

1080. Le chauffage des solides a de très nombreuses applications dans l'industrie. Il a pour but soit le dégagement, à l'état de vapeur, de l'eau qui se trouve dans un solide (cuisson du plâtre), ou bien de gaz combinés (cuisson de la chaux), soit la destruction de substances organiques absorbées (revivification du noir animal), soit le traitement des minerais, des métaux, du verre, soit encore la cuisson du pain, de la viande, etc.

La principale difficulté qu''on rencontre dans le chauffage des solides est de faire pénétrer également la chaleur dans toutes les parties de la masse.

Cette difficulté n'existe pas dans le chauffage des fluides. En soumettant en effet à l'action de la chaleur, la partie inférieure des enveloppes qui les renferment, il se produit des courants intérieurs ascendants et descendants qui tendent à uniformiser la température dans toute la masse. Pour les solides, ce déplacement ne saurait exister et la transmission ne peut se faire que par conductibilité et par le mouvement des gaz interposés. Il résulte de là, que l'égale répartition de la chaleur est très difficile à obtenir et que le plus souvent on observe de grandes inégalités dans la température des diverses parties de la masse.

La transmission de la chaleur aux solides peut s'effectuer assez souvent par le contact direct des gaz de la combustion avec le solide. C'est ce qui a lieu pour la cuisson du plâtre, de la chaux, des briques, pour le traitement des métaux, etc. Les appareils utilisés dans ce but sont des sortes de chambres en briques munies de foyers disposés de manière à faire passer, aussi régulièrement que possible, la flamme et les gaz de la combustion au contact du solide.

Dans la disposition des appareils et des circulations, il faut, en vue d'obtenir la meilleure utilisation du combustible et autant que le permettent les conditions spéciales de l'opération, observer le principe suivant :

A leur sortie du foyer, les gaz de la combustion et les substances traitées *ne doivent conserver qu'une température aussi rapprochée que possible de celle de l'air extérieur.*

Ce principe est évident, car toute chaleur emportée par les gaz ou le corps solide est une chaleur perdue.

Le détail de quelques applications fera mieux comprendre comment le principe peut être réalisé.

FOURS A PLATRE.

1081. Cuisson du plâtre. — Le gypse ou pierre à plâtre contient ordinairement à l'état naturel deux équivalents d'eau. On le débarrasse des trois quarts de cette eau, en le soumettant à l'action d'un foyer. On opère à des températures inférieures à 150° et, après sa cuisson, on réduit le plâtre en poudre. Il possède alors la propriété de se prendre en masse et de durcir

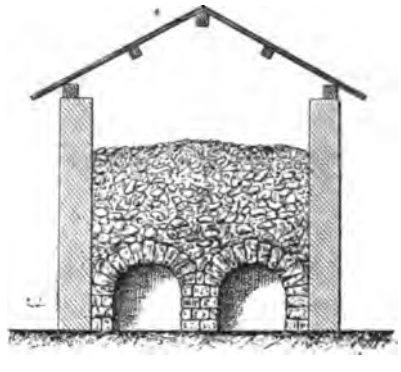


Fig. 617.

Fig. 618.

rapidement lorsqu'on le mélange avec une proportion d'eau déterminée.

Généralement le plâtre se cuit entre murs de la manière suivante :

On construit avec la pierre à plâtre elle-même des voûtes formées à l'aide des blocs les plus gros et on place par dessus des morceaux plus petits (fig. 617). On brûle des fagots sous les voûtes. La flamme chauffe et cuit directement les blocs infé-

rieurs, tandis que les gaz, en traversant la masse soumise à la cuisson, agissent, à mesure qu'ils se refroidissent, sur des morceaux de plus en plus petits. C'est un moyen grossier d'établir une certaine égalité dans la répartition de la chaleur. La pierre à plâtre, qui sert à former les voûtes se trouvant au contact du feu, est soumise à une température trop élevée, subit des détériorations sur une épaisseur de plusieurs centimètres et ne donne que du plâtre de qualité inférieure.

On a construit aussi des fours pour cuire à la houille. Dans ces appareils (fig. 618) le foyer est surmonté de deux voûtes percées d'un certain nombre d'orifices permettant de répartir convenablement la chaleur sur toute la surface du fourneau et d'éviter l'action directe des flammes sur la pierre à plâtre.

Il est important de conduire le feu de telle façon qu'il ne se dégage pas de fumée pendant la cuisson, car cette fumée altèrerait le plâtre. Aussi introduit-on généralement dans le foyer un grand excès d'air, ce qui est favorable à la fumivorité.

Pour la cuisson du plâtre en poudre, M. Arson a employé un cylindre dans lequel tourne une hélice dont on peut modifier la vitesse. On arrive ainsi à faire varier à volonté la durée de l'action de la chaleur et à régler la cuisson.

Quel que soit le procédé employé, on perd à la fin de l'opération :

1° Toute la chaleur contenue dans les gaz qui se dégagent;

2° La chaleur renfermée dans le plâtre cuit.

Toutefois, une température de 150° étant plus que suffisante pour la cuisson de ce produit, il en résulte que, dans l'espèce, la chaleur perdue n'est pas très considérable.

1082. Calcul de la quantité de chaleur nécessaire pour cuire le plâtre. — Soient :

P le poids de plâtre à déshydrater (Il contient 0,791 de plâtre anhydre et 0,209 d'eau);

s la surface en mètres carrés de la grille du foyer;

p le poids de combustible brûlé par mètre carré de grille;

7500 la puissance calorifique du combustible;

$A = 12$ kilogr., le poids d'air nécessaire pour brûler un kilogramme de combustible.

La déshydratation s'opère à la température de $t = 140°$ et les gaz sortent du four à cette même température, la chaleur spécifique du plâtre est 0,196 et celle des gaz de la combustion est $c = 0,24$.

En supposant qu'on parte de 0°, la quantité de chaleur nécessaire pour déshydrater au point convenable se compose de :

La chaleur absorbée par le plâtre réduit

$$P \times 0,791 \times 0,196 \times 140 = 21,7 \times P.$$

La chaleur absorbée par l'eau qui reste dans le plâtre après sa cuisson

$$P \times 0,052 \times 1 \times 140 = 7,3 \times P.$$

La chaleur employée à vaporiser l'eau enlevée :

$$P \times 0,157(606,5 + 0,305 \times 100) = 100 \times P.$$

La chaleur emportée par la vapeur d'eau à 140° :

$$P \times 0,157 \times 0,48(140 - 100) = 3,0 \times P.$$

La chaleur emportée par les produits de la combustion s'échappant à 140° :

$$ps(A + 1)ct = ps \times 13 \times 0,24 \times 140 = ps \times 436,8.$$

Le combustible brûlé devant fournir la chaleur nécessaire à l'opération, on a l'équation :

$$ps \times 7500 = P(21,7 + 7,3 + 100 + 3,0) + ps \times 436,8$$
$$ps = 0,018P \text{ ou } P = 55ps$$

Ainsi, théoriquement, en ne tenant pas compte de la chaleur nécessaire pour décomposer l'hydrate, on devrait cuire 55 kilogr. de pierre à plâtre par kilogr. de houille ou de coke brûlé.

En supposant que la chaleur dégagée par le combustible soit uniquement utilisée à la vaporisation de l'eau du plâtre cru, l'équation précédente deviendrait :

$$ps \times 7500 = 100 \times P$$

d'où

$$ps = 0,013P \text{ ou bien } P = 75ps.$$

Dans cette hypothèse, la combustion d'un kilogramme de houille ou de coke devrait permettre de cuire 75 kilogr. de pierre à plâtre.

En pratique, on brûle dans les meilleurs fours de 40 à 50 kilogr. de combustible par 1 000 kilogr. de plâtre cuit.

FOURS A CHAUX.

1083. Les matières calcaires soumises à la calcination perdent leur acide carbonique et donnent un produit connu sous le nom de *chaux* et utilisé dans l'industrie pour la préparation des mortiers, la défécation des jus sucrés, etc.

Les fours à chaux se divisent en :

1° Fours intermittents ;

2° Fours continus ou coulants.

1084. Fours intermittents. — Les fours intermittents employés en Picardie pour la calcination de la craie ou pierre à chaux sont formés d'une chambre conique en maçonnerie à la petite base de laquelle se trouvent une grille à barreaux mobiles et un cendrier cylindrique (fig. 619).

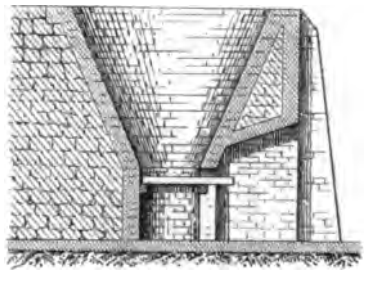


Fig. 619.

Une galerie évasée, ménagée au bas du four, permet d'accéder au cendrier pour retirer la grille et défourner la chaux après la cuisson.

Lorsqu'on veut charger le four, on met la grille en place et on dispose sur celle-ci un peu de menu bois et des morceaux de houille (gailleterie). On met une certaine épaisseur ($0^m,16$ à $0^m,20$) de craie en morceaux, et au-dessus on étend une couche de fines de houille maigre. On continue ensuite à superposer alternativement des lits de craie et de houille.

La craie est réduite en morceaux de grosseur assez régulière longs de $0^m,15$ à $0^m,20$ et dont la section moyenne est de

$0^m,07 \times 0^m,05$ environ. On casse ainsi les blocs de craie afin de faciliter la cuisson.

Lorsque le four est rempli au tiers de sa hauteur, on allume le feu qui s'élève peu à peu. Dès qu'on l'aperçoit près des couches supérieures, on continue les charges alternatives de craie et de houille. Quand le four est plein, on recouvre sa surface d'une couverte de résidus de chaux en poussière, afin que le feu se concentre dans la partie supérieure de la masse de calcaire soumise à la calcination. Lorsque l'extinction du feu s'est produite la cuisson est achevée, on enlève les barreaux de la grille, les morceaux de chaux descendent dans le cendrier et on les extrait par la galerie d'accès.

Par ce procédé, il y a beaucoup de chaleur perdue et il faut un temps assez long pour le défournement. Il est bien préférable, lorsqu'on fait une consommation importante de chaux, de se servir de fours à calcination continue.

Fours coulants. — Les fours coulants peuvent se diviser en fours à stratification de combustible et en fours à chauffe séparée.

1085. Fours à stratification de combustible. — Dans beaucoup de cas, on emploie des appareils dont la forme est analogue à celle des hauts fourneaux (fig. 620). On emploie aussi des fours cylindriques rétrécis dans le haut pour augmenter dans cette région la vitesse de descente et rendre le chargement plus facile; la cuve est également rétrécie dans le bas pour faciliter le défournement.

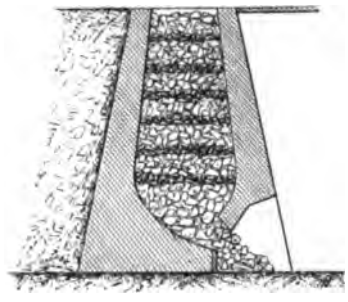


Fig. 620.

On dispose le calcaire ainsi que le combustible par couches alternatives et la combustion se propage d'une couche à une autre. En réglant le défournement, on établit la zone de combustion au point convenable; ordinairement c'est au 1/3 à partir du sommet. De cette manière, la

chaux a le temps de perdre sa chaleur en descendant au contact de l'air froid, qui vient entretenir la combustion, et les gaz, qui s'échappent, peuvent se refroidir en montant au contact du calcaire et du combustible introduits à basse température dans le four.

Les manœuvres de chargement et de déchargement ne présentent pas de difficultés, et la chaux retirée est froide. La hauteur de ces fours peut atteindre de 15 à 16 mètres et leur diamètre varie de $4^{m},50$ à 5 mètres.

On peut se dispenser de charger les fours pendant la nuit, la zone de combustion tend alors à s'élever, mais on la rétablit le matin à la hauteur convenable par un défournement suffisant.

Il faut régler l'épaisseur du combustible de telle sorte que la décarbonatation soit complète, sans qu'il y ait toutefois formation de *biscuits* ou *chaux plombée*.

Lorsque la cuisson a été poussée trop loin, les morceaux de chaux sont réduits à la moitié de leur volume primitif et fusent mal au contact de l'eau.

On détermine par tâtonnement les épaisseurs de combustible à employer, en les augmentant peu à peu jusqu'à ce que la chaux qu'on retire soit entièrement cuite, ce qu'il est facile de reconnaître en cassant quelques morceaux. Si on prenait la marche inverse, c'est-à-dire en diminuant le poids de combustible introduit, on pourrait se tromper parce qu'on ne distingue pas aussi facilement la chaux plombée ou biscuit de la chaux bien cuite, que celle-ci d'un *pigeon* ou *incuit*.

Les morceaux de craie soumis à la cuisson restent dans le four de soixante-douze à quatre-vingt-quatre heures, soit de trois jours à trois jours et demi.

Chaque couche de combustible doit avoir de 10 à 20 centimètres d'épaisseur comme sur les foyers à grille et la couche de calcaire qui la surmonte doit être assez épaisse pour refroidir suffisamment tous les gaz. Ceux-ci ne doivent pas arriver au contact de la couche de combustible immédiatement supérieure à une température telle que l'acide carbonique puisse se transformer en oxyde de carbone.

Il faut $0^{kg},800$ ou un volume de houille pour cuire de 12 à 16 kilogr. ou 6 à 8 volumes de pierre calcaire.

Dans les fabriques de sucre, où l'acide carbonique sortant du four est employé à la carbonatation de la chaux ajoutée aux jus sucrés, on se sert, pour la cuisson, de coke lavé non sulfureux. En général, les combustibles qui conviennent le mieux sont l'anthracite et la houille maigre; seulement, comme ces combustibles sont ordinairement à l'état de fines, on les mouille pour les attacher au calcaire et les empêcher de filtrer jusqu'au bas du four.

Si on veut suspendre la marche du four, il faut arrêter l'arrivée de l'air. On fait pour cela une *couverte* de résidus de chaux en poussière et on peut laisser dormir le feu pendant plusieurs jours.

1086. Calcul de la quantité de chaleur nécessaire pour faire de la chaux. — Soient :

P le poids de calcaire à décomposer;
T la température à laquelle s'opère la décomposition (1 100°);
c la chaleur latente de décomposition du calcaire (370);
c_1 la chaleur spécifique de la chaux (0,21);
t la température de la chaux lors du défournement ;
c' la chaleur spécifique des gaz de la combustion (0,24);
t' leur température à la sortie du four;
s la surface de la grille en m. q.;
p le poids de combustible brûlé par m. q.;
A le poids d'air nécessaire pour brûler un kilogr. de combustible (12 kilogr.);
7500 la puissance calorifique de ce combustible.

On sait qu'un kilogr. de pierre à chaux fournit en se décomposant $0^{kg},56$ de chaux et $0^{kg},44$ d'acide carbonique.

La réduction du calcaire et le dégagement de l'acide carbonique se font ordinairement vers 1 100°.

La quantité de chaleur à fournir pour décomposer un poids P de calcaire se compose de quatre parties :

1° La chaleur latente de décomposition du calcaire ou 370 P.

2° La chaleur emportée par la chaux réduite dont le poids est 0,56 P et qui, à la température t, est : $0,56 \times 0,21 Pt$.

3° La chaleur emportée par l'acide carbonique dont le poids est 0,44 P et qui, à la température t', est : $0,44 \times 0,24\,Pt'$.

4° La chaleur emportée par les produits de la combustion de la houille brûlée. Ce poids étant ps et le poids d'air employé par kilogramme étant A, cette quantité de chaleur est $ps(A+1)c't'$.

Admettons que la puissance calorifique de la houille employée soit 7 500 et qu'il n'y ait pas de chaleur perdue par le refroidissement extérieur, on a :

$$7500ps = P(370 + 0,56 \times 0,21t + 0,44 \times 0,24t') + ps(A+1)c't'.$$

S'il n'existait dans le four que la zone de combustion (une couche de charbon avec le calcaire superposé) on aurait $t = T = t' = 1\,100°$, et en prenant $A = 12$ (minimum), on trouverait

$$ps = 0,15\ P \text{ ou } P = 6,60\ ps,$$

c'est-à-dire que chaque kilogramme de houille pourrait décomposer $6^{kg},60$ de calcaire.

La craie employée contient toujours plus ou moins d'humidité, la vaporisation de cette eau diminue le rendement en chaux.

Quand le four est très élevé, les gaz sortent ainsi que la chaux complètement refroidis (autre cas extrême) on peut avoir

$$t = 0 \qquad t' = 0$$
$$7500ps = 370P$$
$$ps = 0,049P \text{ ou } P = 20,2ps.$$

Chaque kilogramme de houille réduirait plus de 20 kilogr. de calcaire.

C'est entre ces deux termes que se trouvent les résultats pratiques. Dans un four bien disposé et bien conduit, on peut traiter de 14 à 16 kilogr. de calcaire par kilogramme de houille. Dans les fours ordinaires, la production tombe à 10 ou 12 kilogr.

1087. Fours à chauffe distincte. — Les fours à stratification de combustible ne conviennent pour brûler ni le bois, ni la tourbe, ni les houilles grasses. Pour ces combustibles, il faut des fours avec foyer spécial.

On dispose alors autour du four (fig. 621), latéralement à la cuve, un certain nombre de foyers, afin de répartir également la chaleur. On fait entrer la flamme en un point où la section est encore rétrécie, pour lui permettre d'atteindre jusqu'au centre. Les ouvreaux des foyers latéraux doivent être à 3 ou 4 mètres au-dessus du sol de défournement pour que la chaux ait le temps de se refroidir suffisamment avant d'arriver à ce dernier niveau.

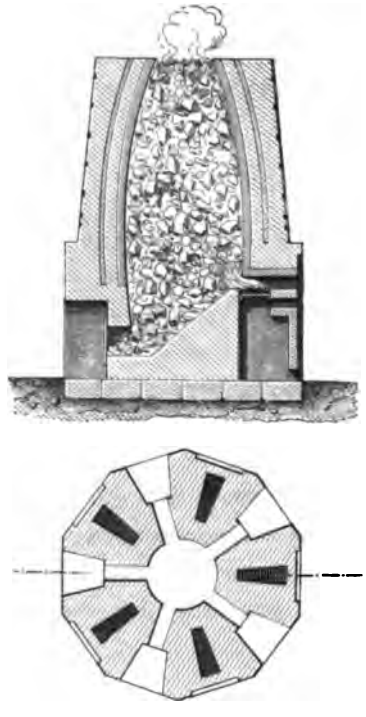


Fig. 621.

On utilise ainsi la chaleur des gaz de la combustion, et une partie de celle qui est renfermée dans la chaux cuite. On laisse pour cela une rentrée d'air dans le bas. L'air affluent s'échauffe, refroidit la chaux et vient compléter la combustion.

On peut également employer les gaz d'un foyer à flamme renversée. On a fait des fours elliptiques avec une galerie annulaire communiquant avec le foyer et percée d'ouvreaux par lesquels les flammes pénètrent dans le four. Les fours à chauffe distincte sont de construction et d'entretien plus difficiles que les fours à stratification. De plus, ils exigent, jour et nuit, une surveillance continue.

FOUR DE BOULANGER.

1088. Les fours destinés à la cuisson du pain sont établis sur un principe spécial, car on ne saurait mettre la pâte en contact avec les gaz de la combustion. Ils sont formés d'une sole

inclinée surmontée d'une voûte très plate; le combustible se place sur la sole et la fumée sort en avant par la bouche du four, pour s'échapper ensuite par la cheminée. On commence par chauffer les parois du four et, quand elles ont acquis la température convenable, on retire le combustible, on introduit les pains et la chaleur nécessaire pour la cuisson est rendue par la masse de maçonnerie. La voûte des fours, chauffée à 290°. environ rayonne sur les pains. Leur température extérieure doit atteindre 210°, tandis que celle de la mie, au centre des pains, peut s'élever à 100 ou 110°. Cette température est nécessaire pour détruire les ferments qui se trouvent dans la pâte.

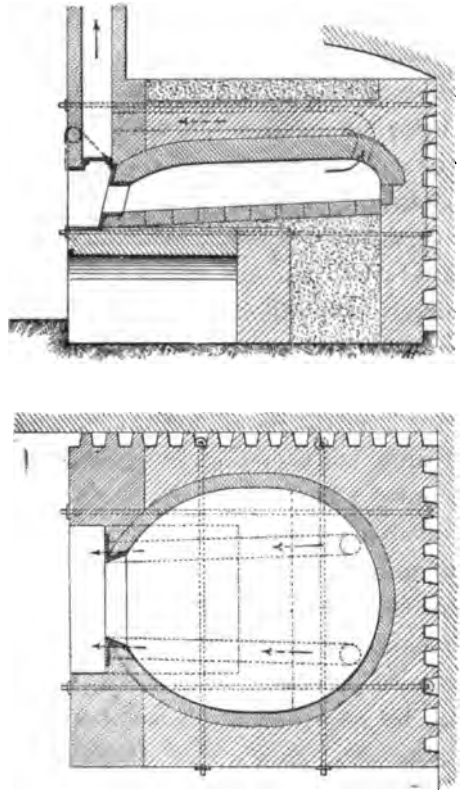


Fig. 622.

Le combustible employé est en général du bois de bouleau, de peuplier ou de sapin écorcé. On choisit de préférence des bois à flamme vive, afin de chauffer la voûte plus que la sole. La voûte agit par rayonnement, tandis que la sole chauffe par contact, si cette dernière était portée à une température aussi élevée que la voûte, la croûte inférieure des pains serait brûlée.

Lebois est un produit qui coûte cher, mais la braise qu'il laisse est de vente facile, ce qui permet de diminuer sensiblement les frais de combustible.

Beaucoup de fours (fig. 622) sont pourvus de plusieurs conduits de fumée, appelés *ouras*, qui passent au-dessus de leur voûte et vont aboutir à la cheminée. Ces ouras sont munis de registres, non représentés sur la figure, et qui permettent de régler la combustion sur la surface de la sole.

Le chauffage du four peut s'opérer en formant avec le combustible trois charges, dont deux sont placées latéralement aux deux tiers de la profondeur du four et la troisième avant la bouche.

Lorsqu'on emploie des bois durs, comme le chêne en bûches courtes, on étend davantage le combustible sur la sole. On peut faire sept charges ainsi disposées : deux vers les angles du fond du four, qu'on allume d'abord ; deux vers le milieu du four, dans le voisinage des parois latérales, on les allume quelques instants après ; deux dans les angles à droite et à gauche de l'entrée du four, et la dernière dans la bouche même du four. Ces trois dernières ne sont allumées que lorsque le bois des quatre premières charges est déjà à moitié réduit à l'état de braise et on laisse le chauffage se continuer. Quand le bois est entièrement consumé, on ramène les braises à la bouche du four et on ferme les ouras aux trois quarts. Les braises sont laissées en ce point pendant cinq minutes environ, afin de donner à l'entrée du four un excès de chaleur, dont une partie se perd pendant l'enfournement et dont une autre partie sert à activer la cuisson des pains qui, introduits les derniers dans le four, en sont retirés les premiers. Si la voûte était chauffée également partout, les pains enfournés les premiers étant retirés les derniers, seraient trop cuits ; pour éviter cet inconvénient il faut donc que le fond du four soit un peu moins chaud que l'entrée. Lorsqu'on a acquis une certaine habitude de la conduite du feu, on arrive facilement à effectuer l'opération très délicate de la cuisson de la *croûte* du pain au degré voulu. Des fours de ce genre sont quelquefois employés pour la dessiccation du bois, des fruits, etc.

La chaleur perdue est très considérable ; on cherche quelquefois à l'utiliser en partie pour le chauffage d'un bouilleur ser-

vant à produire la vapeur nécessaire à une machine qui actionne le pétrin.

Pendant le pétrissage de la pâte, on ajoute environ 50 kilogrammes d'eau à 100 kilogrammes de farine; on obtient 150 kilogrammes de pâte, et, après la cuisson, 130 kilogrammes de pain.

La température du four à la cuisson est de 300° et celle du pain à la sortie 100°.

La chaleur utilisée se compose de trois parties :

1° Celle employée à vaporiser les 20 kilogrammes d'eau qui disparaissent pendant la cuisson, soit $650 \times 20 = 13000$ calories.	13000 cal.
2° Celle employée à élever de 20 à 100° la température de 30 kg. d'eau qui restent dans le pain ou $80 \times 30 = 2400$ cal.	
3° Enfin, celle qui a servi à porter de 20 à 100° la température des 100 kg. de farine. En admettant que la chaleur spécifique de cette substance soit 0,5 on trouve $80 \times 100 \times 0,5 = 4000$ cal.	
soit en totalité..... ..	19400 cal.

En comparant ce chiffre au nombre de calories que peut dégager le bois ou le coke brûlé pour chauffer le four, on obtiendra facilement le rendement de l'appareil.

1089. Four locomobile, système Geneste, Herscher et Somasco. — Ce four (fig. 623), analogue au four ordinaire de boulanger, est employé pour le service des armées en campagne, dans les voyages d'exploration, les colonies, etc.; il se compose de deux fours superposés, enveloppés dans un coffre métallique formant le corps d'une voiture. Ce coffre, porté sur ressorts, est monté sur roues.

Les deux fours ont leur bouche d'enfournement à l'arrière de la voiture; à l'intérieur, se trouve la sole ou carrelage en briques spéciales, surmontée d'une voûte métallique. Le dessus des voûtes est garni d'une matière incombustible, destinée à

emmagasiner la chaleur nécessaire à la cuisson du pain. Les bouches d'enfournement sont protégées par un auvent horizontal, qu'on rabat lorsque l'appareil n'est pas en service; il en est de même des deux tablettes ou autels qui se trouvent en avant de la bouche des fours. De plus, deux volets

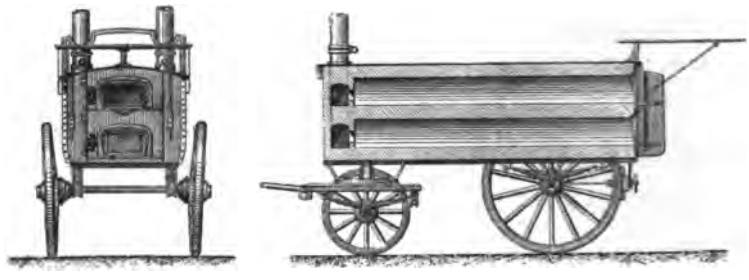


Fig. 623.

verticaux, un de chaque côté, servent à protéger ces bouches latéralement.

Les deux fours sont chauffés à la façon ordinaire, au moyen de bois brûlé sur la sole même, et la flamme frappe directement la voûte. La fumée et les produits de la combustion sont évacués par deux cheminées indépendantes, desservant chacune un four.

Lorsque la température convenable est obtenue, la braise est retirée et on procède à l'enfournement des pains. La voûte et la sole restituent au pain la chaleur qu'elles ont emmagasinée et la cuisson s'accomplit.

La production d'un appareil du type normal, composé de deux fours superposés, est de 120 kilogr. de pain par fournée. La durée d'une opération complète, y compris le chauffage entre deux fournées, est de 80 à 90 minutes. On peut donc faire 16 fournées en vingt-quatre heures et produire 1 920 kilogr. de pain par jour et par appareil.

Le service du four exige un personnel de quatre hommes, le *chef* ou *brigadier*, deux *pétrisseurs* et un *aide* ou *servant*.

Lorsqu'on n'a pas besoin d'une production aussi considérable, on emploie des appareils locomobiles de dimensions moindres, et

à four unique, monté sur deux roues. Ces derniers types sont utilisés de préférence dans les colonies.

1090. Four démontable à augets, système Geneste, Herscher et Somasco. — Ce four (fig. 624) se compose d'un certain nombre de travées en tôle interchangeables, ar-

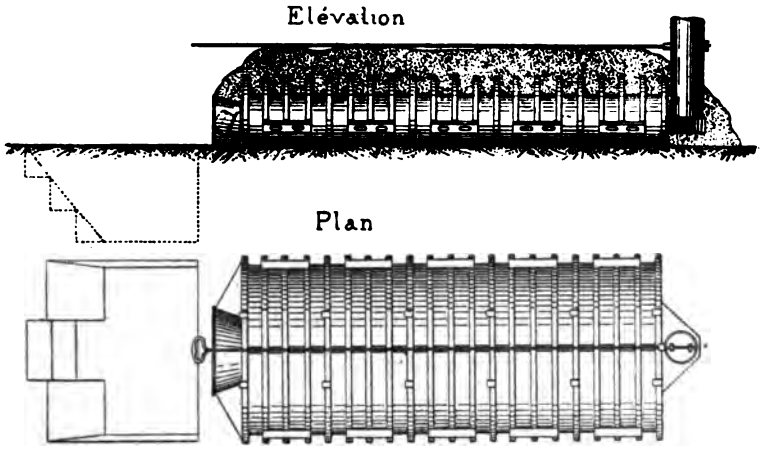


Fig. 624.

mées de cornières en fer et qui, par leur juxtaposition, constituent une voûte métallique destinée à être chargée de terre. Deux fonds métalliques placés l'un à l'avant, l'autre à l'arrière, complètent l'ensemble.

Le fond d'avant est percé d'une ouverture ou bouche d'enfournement, que l'on ferme à volonté au moyen d'une porte ou *bouchoir*. Du fond d'arrière part la cheminée ou *oura* qui sert à l'évacuation des gaz de la combustion.

Un four est, en général, formé de cinq travées ; mais on peut faire varier ce nombre et, par conséquent, augmenter ou diminuer à volonté la puissance de production de l'appareil.

Chaque travée se compose de plusieurs éléments en tôle forte (quatre dans le cas de la figure), rivés ensemble et constituant une poutre, dont la partie inférieure est cintrée en anse de panier et la supérieure en arc de cercle ; elle porte deux poignées qui servent à la manœuvrer et forment supports pour

une autre travée, lorsque les fours sont rangés en magasin ou pendant le transport.

La section d'un élément a la forme d'un U, et la travée formée par la réunion de quatre éléments a ses extrémités munies de cornières disposées pour se raccorder, par emboîtement, avec les parties correspondantes des travées voisines.

Le four peut être établi sur une sole réfractaire spéciale indestructible, composée de panneaux transportables enchâssés dans des boîtes métalliques qui en assurent la solidité. La sole du four peut, dans ce cas, être montée ou démontée en quelques minutes, tandis qu'il faudrait plusieurs heures à des ouvriers exercés pour confectionner une sole en briques jointives.

Lorsqu'on veut installer un four à augets, on l'établit sur un terrain convenablement dressé et on creuse, à $0^m,30$ en avant de la première travée, une fosse de $1^m,10$ de profondeur, dite *trou du brigadier*, dans laquelle se place l'ouvrier chargé de la conduite du four et qu'on désigne sous le nom de brigadier. La terre extraite de ce trou est placée sur le four et, s'il y a lieu, on complète le garnissage de l'appareil au moyen de terre qu'on prend aux abords. L'épaisseur du revêtement total est de $0^m,25$ à $0^m,30$.

Pour se servir d'un four ainsi construit, il faut le cuire, c'est-à-dire le chauffer pendant quatre ou cinq heures consécutives, pour sécher la terre qui le recouvre.

Quand cette opération est terminée, c'est-à-dire lorsque la terre et l'âtre sont suffisamment secs, on peut mettre l'appareil en service. Dès que la température convenable est atteinte, on enfourne les pains et la cuisson s'opère en 40 ou 50 minutes.

Le four peut être démonté très rapidement, les panneaux de sole et les travées peuvent être facilement transportés à dos de mulet et même à dos d'homme pour être réinstallés plus loin. Un four composé de 5 travées et permettant de cuire, par fournée, 40 pains de $1^k,5$ ne pèse que 320 kilogr.

Le four à augets est un appareil simple qui peut rendre de grands services en pays de montagne, dans les colonies, les voyages d'exploration.

1091. Fours à foyer distinct. — On construit des fours que l'on chauffe à l'aide d'un foyer placé latéralement; on établit aussi des fours, dits aérothermes ou à circulation d'air chaud, qui ont été perfectionnés par Grouvelle père et Mouchot. On peut brûler dans le foyer de ces appareils de la houille ou du coke, car aucune fumée n'entre dans le four. Les gaz de la combustion, se rendant à la cheminée, circulent autour des parois et entretiennent la température de la maçonnerie. L'air servant au chauffage intérieur du four s'échauffe au contact des parois du foyer, il passe ensuite dans des carneaux établis sous la sole du four, au-dessus des conduits de fumée du foyer. L'air chaud entre dans le four en trois points, se refroidit en échauffant les parois et redescend par des gaines qui le ramènent en contrebas du foyer.

Ces dispositions permettent de chauffer le four avec un combustible quelconque et d'obtenir des pains dont la croûte inférieure n'est souillée ni de cendre, ni de braise.

1092. Four Perkins. — En Angleterre, on emploie des fours dont la sole, légèrement inclinée, est formée de tubes en fer de 15 millimètres de diamètre intérieur et de 25 millimètres de diamètre extérieur. Ces tubes fermés à leurs extrémités et en partie remplis d'eau sont juxtaposés. A la base de la sole, ils se prolongent hors du four et forment le ciel d'un foyer voisin, dans lequel on brûle du coke; si la température de la sole est, comme dans les fours ordinaires, portée à 300° centigrades, la pression de l'eau dans les tubes fermés peut, d'après Dulong, dépasser 80 atmosphères. Lorsque le chauffage n'est pas surveillé convenablement, la température et par suite la pression peuvent s'élever considérablement. Aussi arrive-t-il souvent que des tubes éclatent. Ordinairement, ces explosions sont peu graves en raison de la faible quantité d'eau (moins d'un demi-litre) enfermée dans un tube.

Le pain retiré de ces fours est généralement moins cuit et a sa croûte supérieure moins brune que le pain soumis à la cuisson dans les fours ordinaires à feu direct.

1093. Four Rolland. — Ce four (fig. 625) est à sole

tournante, formée d'une plaque horizontale en tôle recouverte d'un carrelage céramique. Le tout est monté sur un axe vertical, qu'on peut faire tourner au moyen d'une manivelle agissant

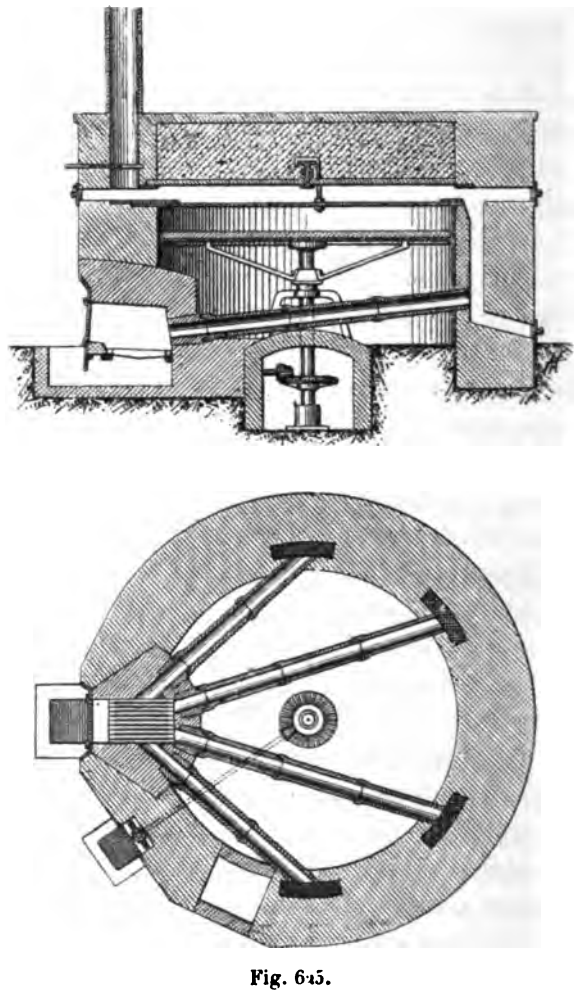


Fig. 645.

par l'intermédiaire d'un arbre horizontal et de pignons. Dans ce mouvement, les différentes parties de la sole viennent se présenter devant la porte du four, ce qui facilite l'enfournement ainsi que la surveillance.

Le four est chauffé par un foyer pratiqué dans le massif de maçonnerie sous la sole mobile. La fumée passe dans des carneaux divergents en fonte pour se rendre dans des gaines montantes chauffant les parois verticales de l'appareil. Elle débouche dans une chambre réservée entre le plafond en tôle du four et un blindage en fonte recouvert d'une couche épaisse de matériaux mauvais conducteurs.

Le chauffage du four s'effectue extérieurement comme celui d'un moufle, sans communication directe avec le combustible, ni avec les gaz de la combustion. Une chaudière, chauffée par ces gaz, peut fournir l'eau nécessaire au pétrissage ou la force motrice dont on a besoin pour cette opération.

Les avantages du four Rolland sont les suivants :

Emploi d'un combustible quelconque ;

Suppression des nettoyages pénibles de l'âtre ;

Enfournement et défournement faciles ;

Cuisson régulière et facile à diriger ;

Production de pain exempt de toutes traces de cendres et de charbon.

Certains appareils Rolland sont composés de deux fours superposés, celui du bas est à sole tournante et celui du haut est à sole fixe.

Le four Rolland, employé dans de nombreuses boulangeries perfectionnées, convient pour la cuisson des pâtisseries. Toutefois, dans les grandes fabriques de pâtisserie, on emploie des fours continus.

1094. Four à cuisson continue. — Ce four est établi dans un massif d'environ 8 mètres de longueur, au milieu duquel se trouve un foyer à coke ou à houille. Les gaz de la combustion circulent sous une sole réfractaire d'environ $1^{m},00$ de largeur. Le ciel du four est formé d'une feuille de tôle mince, recouverte d'une garniture réfractaire de 15 millimètres d'épaisseur que les gaz chauds, qui ont passé sous la sole, viennent chauffer avant de se rendre à la cheminée. Comme le chauffage de cette partie du four pourrait être insuffisant, un foyer spécial permet de la chauffer directement au besoin.

Une chaîne sans fin convenablement guidée passe dans le vide qui existe entre la sole et le ciel du four, puis revient au-dessous du carneau qui chauffe la sole. Le mouvement est donné par une transmission munie de cônes qui permettent de faire varier la vitesse. La pâtisserie à cuire est déposée sur la chaîne sans fin à l'entrée du four, parcourt celui-ci dans le temps nécessaire à la cuisson, ordinairement de six à quinze minutes, et sort cuite à l'autre extrémité.

CUISSON DES BRIQUES.

Les briques se cuisent soit en plein air, soit dans des fours.

1095. Cuisson en plein air. — La cuisson en plein air dite à la *volée* ou en tas s'applique à la préparation des briques communes, principalement dans le Nord de la France et en Belgique. On établit un massif rectangulaire avec des briques crues, préalablement séchées par une exposition à l'air libre, pendant un temps variable. On réserve, dans la base du massif, des carneaux dans lesquels on place le combustible nécessaire à l'allumage.

On dispose les briques de champ et en ménageant des vides destinés à permettre à la chaleur de se répartir, aussi bien que possible, dans toute la masse. Entre chaque assise de briques, on étend une couche de houille maigre. La couche inférieure, une fois enflammée, allume la couche immédiatement supérieure, comme dans les fours à chaux à stratification de combustible. On règle le travail de façon à rester toujours maître du feu. On a soin de mettre une charge de combustible plus forte le long des bords du massif, et on garnit l'extérieur d'une couche d'argile et de paille coupée, afin de réduire l'arrivée de l'air, ce qui permet de maintenir le feu dans le voisinage des parois. Lorsque le massif est exposé à l'action des vents, on dispose, en avant de lui, du côté d'où vient le vent, des paillassons qui servent de *paravent*. La pluie vient souvent aussi gêner la cuisson.

Les produits obtenus par le procédé à la volée sont très irré-

guliers et généralement de qualité inférieure. Les briques du pourtour du massif, celles des premières rangées inférieures et supérieures ne sont jamais cuites; pour réduire le déchet, on les met de côté, afin de les réutiliser dans une cuisson ultérieure.

1096. Cuisson des briques dans les fours. — Le four le plus simple est une enceinte rectangulaire surmontée d'un toit. On range les briques de la partie inférieure de manière à former un caniveau assez vaste pour qu'on puisse y effectuer la combustion des fagots, lorsque les briques sont cuites au bois. Au-dessus, on dispose les briques en ménageant les vides nécessaires pour répartir dans la masse, aussi également que possible, la flamme et les gaz chauds de la combustion. On a aussi établi des foyers à houille avec grilles, voûtes et carneaux de répartition des gaz.

Malgré toutes les précautions prises, on conçoit que les briques du bas qui sont exposées au contact de la flamme soient bien plus fortement chauffées que celles du haut. Aussi sont-elles souvent trop cuites et vitrifiées, alors que celles du haut n'ont pas subi une cuisson suffisante. Pour diminuer cet inconvénient, on place à la partie haute du massif des tuiles, des tuyaux de drainage, moins épais que la brique et plus faciles à cuire. Quand on emploie ce genre de fours, on ne peut pas éviter que, pendant une grande partie de l'opération de la cuisson, les gaz s'échappent à une température élevée, ce qui constitue une perte sensible. De plus, après la cuisson, on perd encore la chaleur emmagasinée dans les briques cuites.

Pour opérer dans des conditions plus satisfaisantes et plus économiques, on a songé à effectuer méthodiquement le chauffage, en faisant absorber par les produits nouvellement enfournés la chaleur emportée par les gaz de la combustion, tandis que la chaleur contenue dans les produits déjà cuits sert à échauffer l'air nécessaire à la combustion. Le four fonctionne d'une manière continue, n'ayant d'autres pertes de chaleur que celle nécessaire au fonctionnement de la cheminée et celles qui sont

inévitablement dues à la radiation et à la conductibilité des enveloppes du four ainsi que du foyer.

Trois systèmes de fours peuvent être employés :

1° Four à foyers successifs;

2° Four à chariots mobiles;

3° Four à foyer mobile.

1097. Four à foyers successifs pour la cuisson des briques, tuiles et autres produits céramiques ordinaires ou réfractaires. — Les figures 626 représentent en plan et en coupe verticale les dispositions du four. Les briques ou matières céramiques à cuire sont disposées dans la galerie annulaire AA, recouverte d'une voûte en briques percée d'un certain nombre d'orifices, par lesquels on introduit le combustible dans le four. Dans le mur extérieur sont pratiquées des ouvertures BB, au nombre de douze dans la figure, servant à l'enfournement et au défournement. La galerie AA est mise en communication avec la cheminée D par douze carneaux C débouchant dans la chambre à fumée F et qui peuvent être fermés à volonté par des obturateurs. La cheminée D est, sur une partie de sa hauteur, divisée en quatre compartiments, par deux cloisons perpendiculaires. Chaque compartiment communique avec la chambre à fumée par un conduit spécial.

Dans la grande galerie AA, à gauche de chacune des portes, et à droite de chaque carneau, se trouvent deux pilastres qui supportent un arc doubleau. Cet ensemble forme un cadre en saillie contre lequel on peut placer un registre en tôle en deux ou trois pièces, qu'on introduit ou qu'on retire à volonté par les portes BB. Ce registre étant placé, l'air affluent et les gaz de la combustion suivent pour se rendre à la cheminée le circuit indiqué par les flèches.

Supposons que le four soit en pleine activité et dans l'état représenté sur la figure, le carneau 12 est seul ouvert, tous les autres sont clos et l'air entre par les portes des chambres 1 et 2, en appelant chambre l'intervalle entre deux arcs doubleaux consécutifs. On enfourne dans la chambre n° 1, dans celle n° 2, on défourne ; et toutes les autres sont remplies de produits. Ceux

contenus dans les chambres 3, 4, 5 et 6 sont cuits et en refroidissement; ceux des nos 7 et 8 sont en plein feu et c'est par les orifices de la voûte correspondant à ces deux chambres

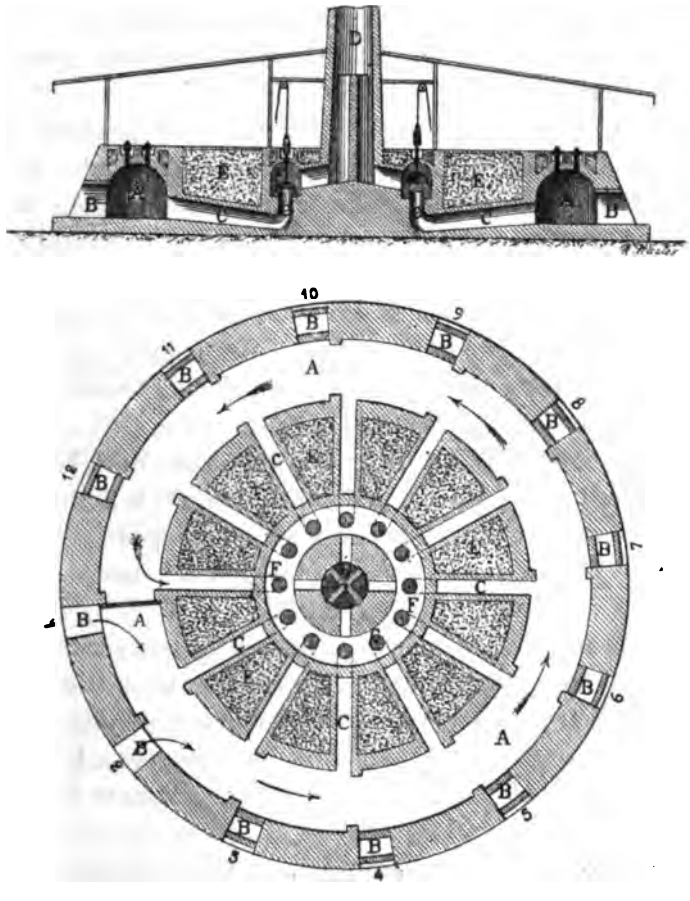


Fig. 626.

qu'on introduit le combustible. Les chambres de 9 à 12 sont chauffées graduellement par les produits de la combustion qui ne conservent, à leur sortie par le carneau 12, que la chaleur nécessaire pour assurer le tirage de la cheminée.

On règle la marche du four pour que le grand feu passe d'une chambre à la suivante en vingt-quatre heures.

Le second jour, la chambre n° 2 est en chargement, la n° 3 en défournement, de 4 à 7 les chambres sont en refroidissement, 8 et 9 sont en grand feu et celles de 10 à 1 en chauffage. Le carneau de fumée de la chambre 1 est ouvert, le registre en tôle est placé entre 1 et 2, les portes des chambres 2 et 3 sont seules ouvertes et ainsi de suite. On met donc douze jours pour faire le tour du four.

On voit, d'après cela, que la brique reste pendant quatre jours en chauffage, deux jours en grand feu et quatre jours en refroidissement graduel. De plus, on met un jour pour enfourner et un jour pour défourner le contenu d'une chambre.

Sous les ouvertures ménagées dans la voûte de la galerie de cuisson, on dispose, pendant l'enfournement, les produits à cuire, particulièrement les briques, de manière à former des gradins sur lesquels le combustible menu tombe et brûle comme sur une grille.

Ce système de four a été inventé en 1866 par M. F. Hoffmann. l'économie considérable de combustible qu'il a donnée, comparativement aux fours intermittents et qui peut s'élever jusqu'à 75 p. 100, a rendu son emploi général dans toutes les briqueteries et tuileries importantes.

La disposition de ce four est évidemment très convenable au point de vue de l'économie de combustible, mais elle présente l'inconvénient grave d'exiger une production régulière, ce qui ne s'accorde guère avec les besoins du commerce. En matière industrielle, en effet, il faut pouvoir proportionner la production aux demandes.

1098. Four continu Bourry. — Des perfectionnements ont été apportés à ce four, notamment en France, par M. Bourry.

La forme ronde a été remplacée par une forme rectangulaire moins encombrante et plus économique comme construction et, dans certains cas, on a substitué au chauffage direct à la houille ou au coke, le chauffage au gaz de gazogène.

Les figures 627 représentent, en plan et en coupe, un four de ce genre. Les chambres de cuisson forment deux galeries parallèles AA, réunies à leurs extrémités par deux conduits

plus petits A'A', permettant d'obtenir une circulation continue, comme dans le four circulaire. La cheminée de fumée D est extérieure au four auquel elle est reliée par un conduit souterrain faisant suite au carneau F. A l'autre extrémité du massif sont placés des gazogènes G dont les gaz combustibles s'écoulent par lesconduits HH. Les puits de chauffage, par lesquels on jette

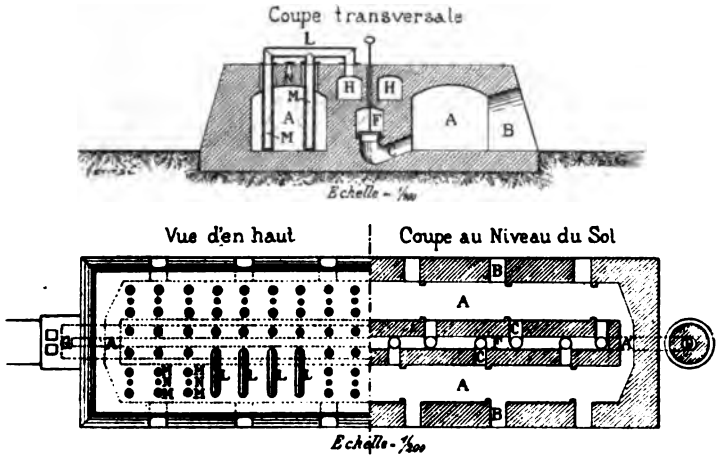


Fig. 627.

dans le four Hoffmann le combustible solide, sont remplacés ici par des tuyaux ou brûleurs en terre réfractaire MM ayant des ouvertures à différentes hauteurs. Les brûleurs sont reliés aux conduits HH au moyen de tuyaux en tôle L que l'on déplace à mesure de l'avancement du feu dans les galeries A. Des regards N permettent de surveiller et de régler la cuisson.

Ces fours sont employés de préférence aux fours Hoffmann, lorsque les marchandises à cuire souffrent du contact des cendres du combustible, comme, par exemple, les tuiles ou autres poteries. Ils sont également très usités dans les fabriques de produits réfractaires, grâce à la plus grande facilité avec laquelle on obtient des températures élevées même avec des combustibles de qualité très inférieure.

D'après les renseignements fournis par M. Bourry, la consommation de combustible serait en moyenne de 40 kilogr. pour

1000 kilogr. de produits creux ou minces (briques creuses ou tuiles); de 50 kilogr. pour 1000 kilogr. de briques pleines de dimensions ordinaires et de 60 kilogr. pour 1000 kilogr. de blocs et gros produits réfractaires.

En déterminant expérimentalement les pertes de chaleur sur des fours en activité normale, M. Bourry aurait constaté que les pertes, y compris la chaleur nécessaire au tirage de la cheminée, ne dépasseraient pas 15 à 20 p. 100 de la chaleur totale dégagée par le combustible.

1099. Four à chariots mobiles. — Une autre disposition de chauffage méthodique est également employée pour la cuisson des briques. Celles-ci sont placées sur un train de chariots dans une galerie voûtée de 20 à 25 mètres de long. Cette galerie est divisée en trois parties par quatre grands registres qui ferment toute la section.

Après avoir levé simultanément les registres, on peut faire avancer tous les chariots. L'air destiné à la combustion commence à s'échauffer au contact du chariot dont les briques viennent d'être cuites; il est aspiré par un ventilateur qui le refoule dans le foyer et, de là, dans la galerie dont il parcourt toute la longueur. Il se refroidit en chauffant les produits à cuire et passe enfin dans le carneau, qui le conduit à la cheminée.

Au premier abord il semble que cette disposition doive être avantageuse, car il n'y a pas de perte de chaleur par les produits de la combustion ni par les produits fabriqués; mais la grande surface de refroidissement du four est une cause de perte de chaleur importante. De plus, tous les axes des chariots roulant dans le feu sont rapidement détériorés. Aussi, ce système a-t-il reçu peu d'applications.

1100. Four à foyer mobile. — Une autre disposition de chauffage méthodique consiste à rendre le foyer mobile sur des rails longeant le four. Ce dernier se compose d'une galerie construite le long des côtés d'une halle rectangulaire.

En transportant le foyer en face des bouches ménagées de distance en distance et en réglant, au moyen de registres, la circulation de l'air et des gaz brûlés, on obtient un chauffage et un

refroidissement méthodiques. Ces fours sont trop compliqués et jusqu'ici n'ont pu réussir commercialement.

1101. Four à poteries. — La cuisson des poteries communes se fait en charge : on empile les objets les uns sur les autres. Ils reçoivent directement l'action du feu, et les pièces recouvertes de vernis adhèrent quelquefois les unes aux autres. On remédie à cet inconvénient en rangeant les produits à cuire de manière à diminuer le plus possible les points de contact. La flamme enveloppe les pièces empilées, traverse les divers canaux que les poteries laissent entre elles, puis, passant par une ouverture réservée au bas du four, se rend à la cheminée.

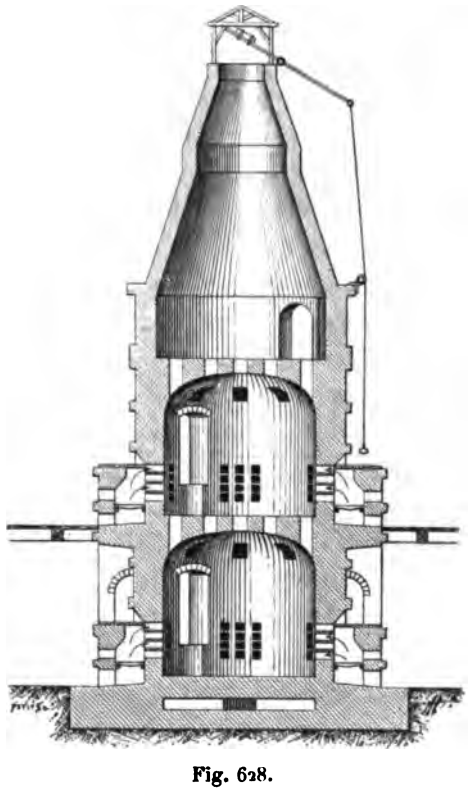


Fig. 628.

1102. Fours à porcelaine. — Ces fours, en général verticaux et cylindriques, sont surmontés d'une coupole au-dessus de laquelle s'élève une cheminée munie d'un registre permettant de régler le tirage. Ils sont divisés en deux étages par une voûte percée d'une série d'orifices laissant passer les gaz de la combustion qui circulent en montant pour se rendre à la cheminée. Les objets à cuire sont mis dans des enveloppes en terre réfractaire et placés dans le compartiment inférieur. L'étage supérieur reçoit les pièces à dégourdir et les enveloppes qui n'ont pas été cuites.

Les fours sont chauffés par 4, 6 ou 8 foyers latéraux ou *alan-*

diers. Le combustible employé est le bois ou la houille. Le chauffage à la houille est moins coûteux, mais il exige un plus grand nombre de foyers.

Le four de la manufacture de Sèvres représenté (fig. 628) est à trois étages. Les objets à cuire sont placés dans les deux compartiments inférieurs, et ceux à dégourdir dans celui du haut. Ce four est chauffé par deux étages de foyers superposés.

La cuisson s'effectue en deux périodes : le petit feu et le grand feu. Dans la première, on chauffe le four pendant seize à vingt heures, de manière que sa température s'élève graduellement. Lorsque le four a acquis la température convenable, la période de grand feu commence et dure pendant dix ou douze heures. Le chef enfourneur se rend compte de la marche du four en retirant de temps en temps des *témoins* ou *montres*. Lorsqu'il reconnaît que la cuisson est opérée, il fait éteindre les feux. On laisse refroidir le four et on procède ensuite au défournement.

Les pièces décorées et peintes sont cuites dans un four spécial muni d'un moufle autour duquel circulent les produits de la combustion du foyer.

1103. Four de verrerie. — Dans les fours de verrerie, il faut une très haute température pour obtenir la fusion des produits. Comme l'ouvrier doit pouvoir à chaque instant puiser dans les pots qui renferment le verre fondu, il faut que la chambre de chauffe soit très sensiblement en équilibre de pression avec l'atmosphère, pour éviter des sorties de gaz qui gêneraient les ouvriers ou des rentrées d'air qui refroidiraient le verre. On est arrivé à réaliser ces conditions, en établissant un tirage avant la chauffe. Le foyer est très bas par rapport à la sole du four et le tirage résulte de la distance verticale entre le foyer et les pots. De plus, on établit, latéralement aux pots, de petites cheminées suffisantes pour évacuer les produits de la combustion qui, sans cela, sortiraient par les ouvertures et empêcheraient les ouvriers d'approcher du four. Mais l'appel de ces petites cheminées doit être juste suffisant pour atteindre ce but, car il faut éviter toute rentrée d'air extérieur, qui refroidirait les pots à verre. Ces conditions sont parfaitement réalisées dans l'industrie.

1104. Four de verrerie, système Appert. — Le four Appert (fig. 629) comprend deux parties : le gazogène et le laboratoire.

Le gazogène est, comme tous les appareils de même genre, employé à transformer le combustible solide en combustible

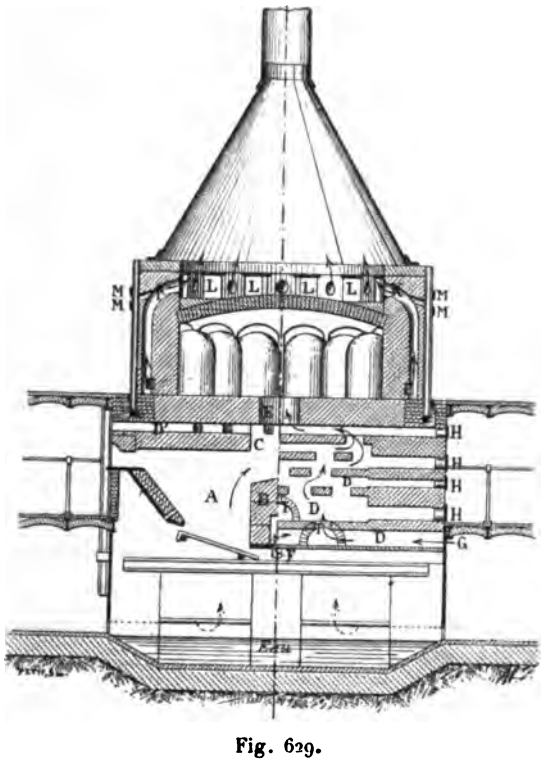


Fig. 629.

gazeux. Le laboratoire est la chambre du four dans laquelle on brûle, au moyen d'une introduction d'air spéciale, l'oxyde de carbone, l'hydrogène et les hydrocarbures venant du gazogène.

Gazogène. — Le gazogène se compose de deux foyers A directement opposés et séparés par une cloison en briques B. Chaque foyer est pourvu à sa partie inférieure d'une grille en fonte dont la pente est de $0^m,30$ par mètre; en avant de cette grille se trouve une sole réfractaire dont la pente est de $1^m,50$ par mètre et sur laquelle s'opère la distillation du combustible.

L'air admis dans le foyer du gazogène lèche la surface de la nappe d'eau du cendrier, puis traverse la grille et le combustible, en produisant d'abord de l'acide carbonique qui, au contact des couches supérieures en ignition, se transforme ensuite en oxyde de carbone.

Les gaz combustibles mélangés d'azote sortent du gazogène par l'ouverture C, rencontrent immédiatement à angle droit des jets d'air chauffés à 600° environ par leur passage dans les carneaux D, et la combustion commence dans le conduit E pour s'achever dans le laboratoire.

Les carneaux D sont ménagés dans l'épaisseur des parois latérales des foyers et sont pourvus de chicanes; ils débouchent dans une série d'autres carneaux D' réservés dans le plafond des foyers et aboutissant au conduit vertical E. Les chicanes des carneaux sont disposées de telle sorte que tous les parcours soient égaux, quel que soit le chemin suivi par l'air affluent. Ce dernier entre dans les conduits D par les orifices G, munis de registres permettant de régler la quantité d'air introduit.

En H, H..., sont placés des tampons de nettoyage, et dans le voisinage de L, L..., des voûtes destinées à maintenir le dessus du fourneau quand on démolit certaines parties de maçonnerie pour effectuer les nettoyages et les réparations.

Laboratoire. — Les gaz enflammés dans le conduit E s'élèvent jusqu'à la voûte du laboratoire et redescendent au contact des cornues. Ils longent les murs extérieurs du four, puis s'échappent par les conduits montants K partant de la sole et débouchant au-dessus de la voûte, mais en contre-bas de la hotte en tôle qui surmonte le four.

Entre les orifices K sont ménagées des ouvertures L par lesquelles afflue en grande quantité l'air extérieur qui maintient une température relativement basse dans la hotte et empêche la tôle de rougir.

Dans ce four, les creusets sont enveloppés par les flammes et ne présentent aucune ouverture à l'intérieur du four; chacun d'eux communique avec l'extérieur au moyen d'un orifice débouchant dans une fenêtre par laquelle on vient puiser le verre.

La température varie dans les différentes parties du four, mais ne dépasse pas 1500°.

La voûte du laboratoire est très surbaissée, et, en se dilatant sous l'action de la température élevée à laquelle elle se trouve soumise, tend à renverser les murs extérieurs du four. Pour s'opposer à cet effet, on garnit l'appareil de forte sarmatures M qui maintiennent les maçonneries.

1105. Four à recuire les fils de fer et d'acier. — Ce four (fig. 630), étudié par M. Bourry en 1888, se compose d'une série de chambres A, disposées concentriquement autour d'un conduit vertical K et dans chacune desquelles on place une chaudière métallique mobile B recevant les fils de fer à recuire. Chaque cuve est fermée par un couvercle en fonte F, percé d'un orifice P qu'on peut fermer au moyen d'une soupape conique, et communique par un conduit doublement coudé ECD avec la partie supérieure de la suivante. Chaque cuve peut être mise successivement en communication soit avec la cheminée, soit avec le gazogène, au moyen des tuyaux pivotants J et M.

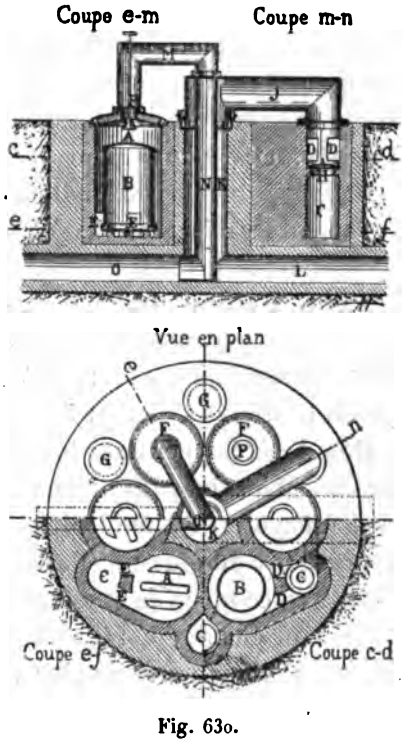


Fig. 630.

Le fonctionnement est le même que dans le four Hoffmann. L'air servant à la combustion du gaz est appelé par le tirage de la cheminée, il pénètre dans une chambre A par l'ouverture P, descend dans cette chambre, passe dans le conduit ECD et redescend dans la chambre voisine, etc... Il s'échauffe en refroi-

dissant les chaudières B, ainsi que les parois des chambres et il arrive chaud à la partie supérieure de la chambre dans laquelle on introduit par le tuyau M le gaz combustible venant d'un gazogène. La combustion s'effectue en ce point et les gaz brûlés s'échappent par le bas de la chambre et circulent dans les chambres suivantes qu'ils échauffent en se refroidissant eux-mêmes jusqu'à ce qu'ils rencontrent le tuyau mobile J qui les conduit à la cheminée. Un diaphragme mobile H placé au point convenable dans le conduit C empêche la circulation de l'air de s'effectuer dans le sens inverse de celui qui vient d'être indiqué. Lorsque le recuit des produits placés dans la chambre A est terminé, on déplace les conduits mobiles J et M ainsi que le diaphragme H pour que le chauffage se produise de la même manière dans la chambre suivante et ainsi de suite. Il faut de dix-huit à vingt-quatre heures pour opérer une rotation complète.

Le four à recuire de M. Bourry, a permis de réduire très notablement les dépenses auxquelles donnait lieu le recuit tel qu'il était pratiqué précédemment.

1106. Four à réverbère. — Un four à réverbère se compose d'un foyer surmonté d'une voûte qui s'infléchit au-dessus d'une partie plane ou formant cuvette appelée sole et sur laquelle se trouve le corps à chauffer.

Il faut développer dans le foyer une température aussi élevée que possible. On y gagne sous le rapport du temps, parce que le chauffage est d'autant plus rapide que la différence entre la température du four et celle du corps à chauffer est plus grande; d'ailleurs, ce mode de fonctionnement est plus économique.

S'il faut chauffer à 1400° et si on peut avoir des gaz à 1800°, on ira au moins deux fois plus vite qu'avec des gaz à 1600, parce que la différence de température sera double dans le premier cas; de plus, l'utilisation sera plus grande. D'un côté elle est proportionnelle à $\frac{1800-1400}{1800}$, de l'autre, à $\frac{1600-1400}{1600}$; dans le premier cas l'utilisation obtenue est presque le double de ce qu'elle est dans le second.

1107. Foyer à tuyère. — Quand la température doit être

localisée, on se sert de bas foyers, de fours à creuset ou à tuyères. Si l'air y arrive chaud, la température peut s'élever considérablement.

La proportion de cendres contenue dans le combustible a une grande influence sur la température obtenue et, lorsque le combustible est trop impur, on a avantage à le transformer dans un gazogène pour l'employer sous forme de gaz..

FOURS CRÉMATOIRES.

1108. Les fours crématoires sont des appareils dans lesquels on doit produire l'incinération des cadavres et des débris humains provenant des amphithéâtres de dissection. Dans l'établissement d'un four crématoire, il convient de s'attacher à réaliser une opération rationnelle, en tenant compte des phénomènes particuliers que présente l'incinération des corps ; il y a lieu de prendre des dispositions permettant d'opérer d'une manière sûre, rapide et économique, tout en assurant à l'opération la décence exigée. Il est nécessaire de cacher aux assistants toutes les manipulations de combustible ou autres et de disposer la salle dans laquelle est établi le four de façon qu'elle puisse se prêter à l'exercice des différents cultes. L'opération de la crémation doit être rendue aussi rapide et aussi courte que possible ; elle ne doit donner lieu à aucune odeur soit dans l'intérieur de l'édifice, soit à la sortie de la cheminée. Enfin, il faut que les dispositions soient prises pour garantir la conservation totale et sans mélange des cendres et menus résidus provenant de l'incinération du corps.

Les phases successives de l'opération doivent être réglées d'après l'observation des phénomènes qui se produisent dans l'incinération. Au début, il faut lancer dans le four de grandes masses d'air chaud, dont la chaleur est utilisée à vaporiser les 75 p. 100 d'eau que contient le corps et à oxyder les gaz qui se dégagent en grande abondance.

L'air affluent ne doit pas être à température trop élevée, afin d'éviter de durcir et parcheminer la peau du cadavre, ce qui

gênerait le dégagement des gaz. Cette première partie de l'opération constitue une véritable distillation.

Après cette première phase, il faut envoyer l'air à une température plus élevée pour achever de réduire le corps en cendres. Là encore, il faut éviter une température trop élevée qui pourrait fritter les os, c'est-à-dire leur faire subir une espèce de vitrification et empêcher leur réduction en cendres. En général, la température ne doit pas dépasser de 1 100° à 1 200° C.

1109. Four crématoire Polli. — C'est le premier appareil crématoire qui ait été employé pratiquement; il fut installé en Italie et se composait d'une cornue verticale en terre réfractaire, à la base de laquelle pénétrait un mélange d'air et de gaz d'éclairage; à l'intérieur se trouvait une autre cornue renfermant le corps à incinérer. Cet appareil a servi de point de départ pour la construction des autres fours.

1110. Appareil Müller et Fichet. — Ce four crématoire, exposé en 1878, paraît répondre aux diverses conditions énumérées précédemment et auxquelles doivent satisfaire les appareils de crémation.

Le corps à incinérer est placé dans une cornue analogue à celles qu'on emploie pour la fabrication du gaz d'éclairage. A la base du four est un récupérateur servant à refroidir les gaz brûlés qui se rendent à la cheminée et à chauffer l'air affluent qui vient traverser la cornue de distillation pour effectuer l'incinération du corps.

Les gaz à haute température provenant de la distillation du corps viennent se mélanger avec l'oxyde de carbone chaud, fourni par un gazogène placé en tête du four.

La combustion qui s'effectue porte la cornue à une très haute température. Les produits de la combustion s'échappent en traversant le récupérateur dont nous venons de parler, et y abandonnent une grande partie de leur chaleur qui est employée à élever la température de l'air affluent dans le four.

Des expériences faites sur des débris divers d'animaux ont montré qu'il faudrait environ une heure et demie pour incinérer un corps humain.

La durée de l'opération pourrait être réduite sensiblement en insufflant au bout d'un quart d'heure de l'oxygène pur ou de l'air oxygéné.

1111. Appareil Gorini. — Cet appareil comporte un gazogène au bois dont les gaz se mélangent à l'air chaud sortant d'un récupérateur; on peut arriver à obtenir une température de 1 500° dans le four crématoire. Un spécimen de ce four a été installé au Père-Lachaise, mais les résultats obtenus ne sont pas très satisfaisants. La durée d'une opération peut dépasser deux heures et la dépense est assez considérable.

1112. Four Siemens de Dresde. — Ce four, installé à Gotha, se compose, comme l'appareil Müller, d'une chambre de combustion, d'un gazogène et d'un récupérateur. Au moyen de valves qu'on peut régler à volonté on rend la flamme oxydante ou réductrice selon les phases de l'opération. D'après M. Bartet, qui a visité l'installation de Gotha, il serait interdit d'atteindre la température de 1 200°, pour éviter la vitrification des os. On se contenterait de chauffer à 800°. L'opération dure au moins une heure et demie.

1113. Appareil Bourry. — Ce four, installé à Zurich en 1889, est disposé de façon à dissimuler toutes les manipulations et les diverses parties de l'appareil crématoire. Le gazogène et le récupérateur sont établis en sous-sol; le four et la cheminée sont dissimulés sous des revêtements en pierre ornée de sculptures. La combustion s'effectue dans un creuset dont la sole est formée de plaques ondulées en porcelaine. La manœuvre de la porte d'entrée du four se fait du sous-sol ainsi que l'introduction du cercueil dans l'appareil.

Lorsque l'incinération est complète, un balai en amiante, mû par le mécanisme qui sert à introduire le corps, pousse les cendres vers le fond du four, où elles tombent dans l'urne funéraire.

M. Bourry estime que la durée de l'opération peut être d'environ une heure et qu'il faut, pour une première opération, brûler de 200 à 300 kilogr. de coke, dont les deux tiers servent au chauffage préalable du four. D'après des expériences faites par M. Chassaing, dans des cornues de la Cie parisienne du gaz,

il faudrait une heure et demie environ pour obtenir des résultats analogues à ceux du four au bois du Père-Lachaise.

1114. Four crématoire de MM. Geneste et Herscher. — L'appareil (fig. 631) comprend quatre parties principales :

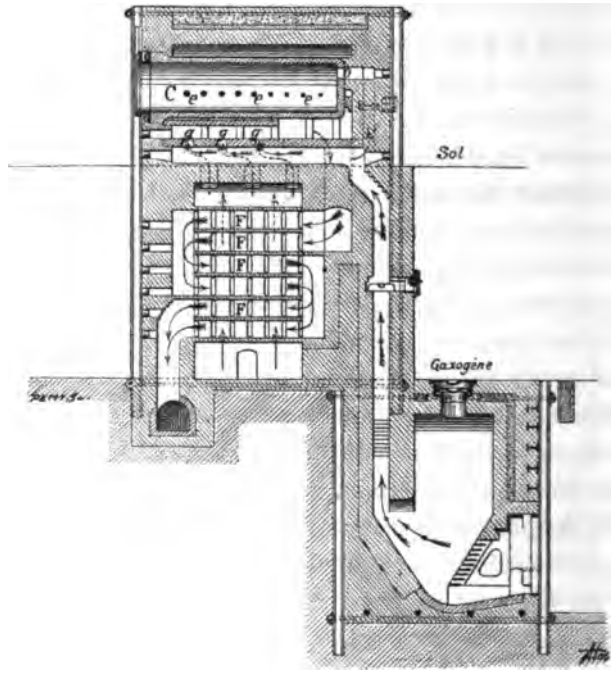


Fig. 631.

1° Le four d'incinération proprement dit ;
2° Le gazogène où s'opère la distillation du combustible ;
3° L'appareil récupérateur de chaleur ;
4° La cheminée d'évacuation des produits de la combustion.

Four d'incinération. — Le four, installé au rez-de-chaussée, est constitué par un massif en maçonnerie affectant à l'intérieur la forme d'un four à réverbère et dans lequel est disposée une cornue C en terre réfractaire. Le cercueil, contenant le corps à incinérer, est placé dans la cornue dont les parois se trouvent portées à une très haute température par la com

bustion, dans le four à réverbère, d'un mélange de gaz provenant du gazogène et d'air chauffé sortant du récupérateur. Le gaz afflue dans le four par les orifices *gg*, et l'air chaud par les orifices recouverts en projection par *gg* (fig. 631).

Au-dessus de ces orifices, au point même où se produit l'inflammation du mélange, la cornue est protégée par une plaque de coup de feu en terre réfractaire.

L'incinération du corps placé dans la cornue est produite à la fois par l'effet de la très haute température des parois et par l'action de l'air chauffé introduit en abondance dans la cornue par un orifice O percé dans son fond. Cet air produit l'oxydation des gaz provenant de la distillation du corps et entraîne en dissolution la vapeur d'eau dégagée en grande quantité par cette distillation; le mélange ainsi obtenu s'échappe de la cornue par les orifices latéraux *ee*, et vient dans le réverbère, où il subit l'action d'une température élevée ainsi qu'un brassage énergique qui assure l'oxydation des derniers éléments gazeux combustibles et la destruction de toutes les parties susceptibles de porter à l'extérieur une mauvaise odeur. On peut encore au besoin faire brûler des jets de gaz dans l'intérieur de la cornue. Le mélange des gaz brûlés parcourt les circuits du récupérateur qu'il échauffe, puis, après refroidissement, se rend à la cheminée d'évacuation.

A la base de cette cheminée est un foyer supplémentaire destiné à donner une sécurité plus grande à l'égard de la combustion complète des produits susceptibles de dégager une mauvaise odeur dans l'atmosphère.

La fermeture hermétique du four est obtenue à l'aide d'un châssis en fonte fixé à l'entrée de la cornue et dans lequel coulisse un obturateur réfractaire muni d'un joint en corde d'amiante.

La porte étant descendue devant l'orifice de la cornue, on la serre contre cet orifice au moyen d'une traverse et d'une vis de pression. Pour éviter que le four ne développe aucune chaleur gênante dans la salle où il est placé, on a établi, tout autour du massif qui le renferme, une double enveloppe; et, dans le vide de cette enveloppe, on fait circuler de l'air frais, ce qui peut être réalisé facilement en utilisant l'appel de la cheminée.

Lorsqu'on veut incinérer un corps, on porte le four à la température convenable, puis on arrête l'arrivée de l'air et du gaz; on ouvre la porte du four, on introduit le cercueil à l'aide d'un chariot spécial. On éloigne ensuite le chariot; on referme le four; on fait arriver l'air chaud et ensuite le gaz.

Lorsque l'incinération est achevée, on retire les cendres qui se trouvent dans une toile d'amiante dans laquelle on avait enveloppé le corps.

Gazogène. — Le gazogène est établi dans le sous-sol; il a la forme des appareils de même genre usités en métallurgie (**256**, tome I). Les gaz sortant du gazogène s'élèvent jusqu'au four à réverbère par un conduit pourvu d'un registre qui permet de régler leur passage.

Récupérateur. — Le récupérateur est semblable à ceux que nous avons décrits dans le chauffage des gaz (**1033**). Il est composé d'un système de poteries en terre réfractaire, constituant des conduits séparés pour la fumée et l'air à chauffer, de manière que ces fluides ne puissent se mélanger.

Dans l'appareil représenté (fig. 631) la fumée s'échappe du réverbère par les conduits FF, parcourt successivement les circuits horizontaux du récupérateur et descend dans le carneau qui la conduit à la cheminée. L'air arrive sous la base du récupérateur, s'élève dans les divers conduits verticaux où il s'échauffe, puis il se rend en partie dans la cornue, en partie dans le four à réverbère, où il se mélange avec les gaz du gazogène dont il produit l'inflammation et la combustion.

Cheminée. — Elle peut être construite comme une cheminée d'usine ordinaire (t. Ier, **461** et suiv.); mais l'utilité qu'il peut y avoir à ventiler le sous-sol et à faire passer un courant d'air frais dans la double enveloppe du four d'incinération peut conduire à adopter une cheminée placée dans l'axe d'une gaine de ventilation.

La cheminée de fumée est pourvue à sa base d'un foyer spécial destiné à brûler et à détruire les parties odorantes qui auraient pu échapper à la combustion dans le four. On remplace parfois le foyer par une autre disposition plus compli-

quée, mais qui offre une sécurité plus grande au point de vue de la suppression des odeurs. A cet effet on refroidit les gaz avant de les envoyer à la cheminée et on les oblige à passer au travers d'une masse de coke imprégné d'un liquide, comme le sulfate de nitrosyle, susceptible d'absorber les produits ammoniacaux dont la décomposition est difficile et qui, en s'échappant au dehors, y dégagent une mauvaise odeur. Un ventilateur, placé à la suite de l'appareil refroidisseur, produit l'aspiration nécessaire à la circulation des gaz et les refoule dans l'épurateur à coke d'où ils passent dans la cheminée.

On peut, en pratique, supprimer la cornue dans laquelle se place le corps à incinérer. Dans ce cas, le cercueil est placé directement sur la sole du four à reverbère.

1115. Le four crématoire que l'administration de la ville de Paris a fait construire au cimetière du Père-Lachaise est tout à fait analogue au four Geneste et Herscher, mais il ne comporte pas de cornue. Lorsque l'incinération est terminée, les cendres restent sur la sole du four. Pour les enlever, on balaye la sole au moyen d'un racloir garni d'un carton d'amiante, qui en épouse exactement la forme et se trouve porté par l'extrémité des bras du chariot servant à introduire les cercueils, dans la chambre de combustion.

Les cendres recueillies sont versées dans une urne fournie par les familles. Lorsqu'elle doit être déposée dans une sépulture particulière, les dimensions et la forme de cette urne ne sont déterminées par aucun règlement. Au contraire, si les cendres doivent être déposées dans un columbarium de la ville de Paris, l'urne doit avoir les dimensions suivantes :

Largeur $0^m,28$, longueur 0,48 et hauteur $0^m,28$.

Une opération d'incinération au Père-Lachaise dure environ de $1^h,10$ à $1^h,20$ minutes. Le poids des cendres recueillies après la crémation d'un corps humain pesant 50 kilogr. est, en moyenne, de 3 kilogr.

1116. Appareil Guichard. — Il se compose essentiellement, d'après M. Salomon, d'une cornue à gaz terminée par une cheminée verticale à double retour de flamme. Dans les

parois de la cornue sont ménagées des ouvertures laissant accès à quinze forts chalumeaux à air comprimé et à gaz, disposés de façon à répartir uniformément leur action sur la partie centrale, dans laquelle est placé le cadavre. Les chalumeaux communiquent avec des serpentins placés à l'intérieur de la cheminée de façon à recevoir des gaz chauffés au moyen de la chaleur perdue. Leur flamme peut être rendue à volonté plus ou moins oxydante, selon les phases de l'opération, par une simple manœuvre de robinets. Les chalumeaux ont l'inconvénient de troubler, par leur bruit intense, le silence qui convient en pareille circonstance.

D'après M. Guichard, il faudrait 35 minutes pour la combustion complète d'un corps de 70 kilogr. ; on brûle 120 mètres cubes de gaz à 15 centimes et on fournit 350 mètres cubes d'air comprimé dont le prix de revient est de 15 francs. La dépense totale s'élèverait à 33 francs par opération.

1117. Chauffage des solides par la vapeur surchauffée. — On se sert quelquefois, pour le chauffage des solides, de vapeur soit saturée, soit surchauffée On place alors généralement les corps à chauffer dans un vase oscillant autour de deux tourillons creux ; par l'un d'eux s'introduit la vapeur et par l'autre s'échappe l'eau condensée ; pour retirer les corps on renverse le vase oscillant. Il est important, pour que le chauffage se fasse bien, que l'air soit complètement chassé par le courant de vapeur.

Quand on connaît le poids du solide P, sa chaleur spécifique c et la température t à laquelle il faut l'élever, la quantité de vapeur nécessaire pour une opération méthodique peut être calculée par la formule

$$Q = \frac{Pct}{540}.$$

Q étant le poids de vapeur à condenser.

Ceci suppose que l'eau condensée s'écoule à 100°. Si elle sortait à 150°, il faudrait mettre au dénominateur 500 seulement ; si elle sortait à 0°, on prendrait 640 ; en un mot on prend pour déno-

minateur la chaleur latente à la température de l'eau qui sort.

Une autre disposition plus simple consiste à placer dans un chaudron en fonte ou en tôle, qu'on remplit d'eau jusqu'à un certain niveau, un vase ou un tonneau dont le fond percé de trous s'élève un peu au-dessus de l'eau. On remplit ce tonneau des objets que l'on veut chauffer par la vapeur qui se dégage quand on chauffe.

On peut mettre successivement plusieurs vases sur la même eau qu'on n'échauffe qu'une fois pour une série d'opérations. On économise ainsi la dépense de combustible nécessaire pour chauffer l'eau à 100°.

1118. Distillation des schistes par la vapeur. — On emploie de grands vases en fonte fermés à leur partie supérieure par un obturateur. Les joints sont faits avec des anneaux en fil de fer.

Au commencement du chauffage, il y a condensation complète de la vapeur jusqu'à ce que le schiste ait acquis la température de 100°.

La température s'élève ensuite graduellement à 290 et 300°, mais alors la vapeur ne se condense plus et il y a une perte de chaleur considérable. Supposons, en effet, qu'on ait seulement à porter le schiste de 280 à 290°. La capacité calorifique de ce corps étant environ 0,20, pour élever de 10° la température de 10 kilogr. de schistes, il faudra fournir.

$$(290 - 280)10 \times 0,20 = 20 \text{ calories.}$$

Chaque kilogr. de vapeur surchauffée à 300° se refroidit en moyenne de 15°; il ne fournit que $0,48 \times 15 = 7^{cal},2$ et pour le former il a fallu :

$$637 + 200 \times 0,48 = 733 \text{ calories.}$$

On n'utilise donc que $\frac{7,2}{733}$ soit 0,01 environ.

Pour éviter cette perte, il suffit de prendre plusieurs vases à des degrés différents de chauffage et de faire passer la vapeur d'abord dans le vase le plus chaud, puis successivement dans

les autres plus froids pour la condenser, en un mot de faire un chauffage méthodique.

1119. Appareil à dégoudronner, système Geneste, Herscher et Somasco, appliqué aux fûts et foudres de brasserie. — Le goudronnage intérieur des futailles de brasserie est une opération pratiquée non seulement sur les foudres de bière de garde, mais aussi sur les fûts d'expédition qui doivent être dégoudronnés et regoudronnés à chaque voyage.

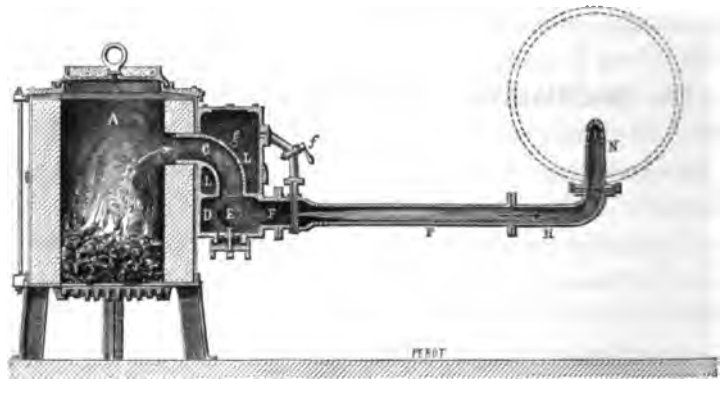


Fig. 632.

L'appareil dégoudronneur (fig. 632) se compose d'un foyer cylindrique vertical A à revêtement réfractaire, pourvu à sa base d'une grille et à sa partie supérieure d'un couvercle mobile en fonte.

Sur le côté du foyer se trouve un tuyau de fumée C recourbé et débouchant dans une chambre D, de laquelle partent trois tuyaux horizontaux EFH, faisant entre eux des angles de 90° et recourbés à angle droit vers leur extrémité N ; celle-ci porte le nom de *jet* et est percée d'un grand nombre de petits orifices destinés à donner issue aux gaz du foyer.

L'écoulement des gaz chauds est activé par un injecteur de vapeur ; ce fluide est emprunté au générateur de l'usine et doit être aussi sec que possible. Il y a donc lieu de prendre les précautions voulues pour éviter les entraînements d'eau et pour

plus de sécurité on fait arriver la vapeur dans une chambre L que traverse le tuyau de fumée.

La vapeur sèche dont la dépense est réglée par les robinets *f* est lancée dans l'axe des tuyaux horizontaux et entraîne les gaz chauds du foyer ; elle se surchauffe à leur contact et le mélange sort par les jets d'extrémité.

L'appareil dégoudronneur comporte ordinairement deux jets pour fûts et un jet pour foudre. Les deux premiers peuvent fonctionner ensemble ou séparément, mais le dernier fonctionne seul. On peut, avec cet appareil, dégoudronner 60 à 80 petits fûts ou 4 à 5 grands fûts à l'heure.

Les fûts à dégoudronner doivent être lavés, rincés et égouttés depuis plusieurs heures ; sans cette précaution, l'opération serait longue et le goudron ne pourrait fondre qu'après la vaporisation de l'eau contenue dans le fût.

Le fût est amené au-dessus du jet et placé de manière que celui-ci pénètre à l'intérieur de $0^{m},05$ environ suivant l'axe du trou de la bonde. L'intervalle qui reste libre autour du jet dans l'épaisseur de la paroi du fût permet l'écoulement à l'extérieur des gaz chauds et des vapeurs de goudron.

Lorsqu'on veut effectuer une opération on met du coke dans le fourneau et on allume. Quand le feu est suffisamment pris, on achève de remplir le foyer jusqu'en haut et on attend que le feu soit bien vif dans tout l'appareil.

On s'assure alors que la vapeur prise à la chaudière est bien sèche en ouvrant un petit robinet spécial fixé sur la chambre de vapeur et qui ne doit plus laisser échapper d'eau quelques secondes après qu'il a été ouvert. On ouvre en grand pendant quelques instants les robinets des injecteurs de vapeur, afin d'échauffer des tuyaux alimentant les jets. On replace ensuite avec soin les rondelles qui couvrent le foyer et on ferme les extrémités des jets qui ne doivent pas être mis en service. On attend le complet échauffement des tubes, qui est obtenu lorsqu'en exposant à l'action des gaz chauds sortant du jet une petite baguette d'étain, celle-ci entre rapidement en fusion. Le fût est alors mis en place, il sort par la bonde et le trou de vidange

du fond une vapeur plus ou moins aigre et le goudron coule. On reconnaît que l'opération est terminée lorsque le goudron, en s'égouttant, répand quelques vapeurs bleues qui annoncent que la distillation commence.

APPAREILS D'ÉCONOMIE DOMESTIQUE.

FOURNEAU DE CUISINE.

1120. On connaît la forme du fourneau de cuisine ordinaire (fig. 633). C'est une simple boîte en fonte garnissant un vide réservé dans une paroi horizontale en maçonnerie et munie à sa partie inférieure d'une grille. Sous la grille est un cendrier avec une porte munie d'un registre pour régler la combustion. On ne

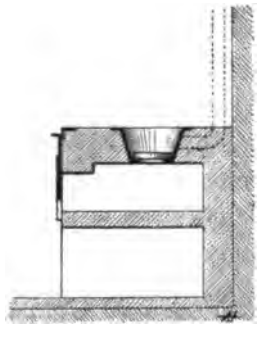


Fig. 633.

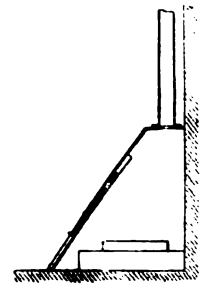


Fig. 634.

brûle que du charbon de bois ou du charbon de Paris. Il ne se produit pas de fumée, mais on constate toujours un dégagement d'acide carbonique et d'oxyde de carbone dans la pièce, malgré l'existence d'une hotte destinée à évacuer ces gaz et les odeurs. La hotte ne remplit jamais bien son office et l'on sent toujours dans les pièces voisines une odeur de cuisine. Quelquefois on perce une ouverture latérale au fourneau et on établit avec une cheminée une communication indiquée en pointillé sur la figure.

Dans ces fourneaux, on est obligé de brûler du charbon de bois, mais la combustion s'opérant en général sur de très petites masses, la dépense reste peu importante.

Pour se débarrasser de certaines odeurs pénétrantes de cuisine, on peut opérer sous une hotte fermée (fig. 634), munie d'une porte à coulisses. En réglant l'ouverture de cette porte, on peut obtenir un tirage suffisant pour enlever complètement les odeurs.

1121. Fourneau de cuisine à houille. — Ce fourneau (fig. 635) se compose d'un foyer, d'une plaque de cuisson à températures graduées, d'un four à rôtir F, d'un réservoir d'eau chaude R et d'une étuve E pour tenir les mets chauds.

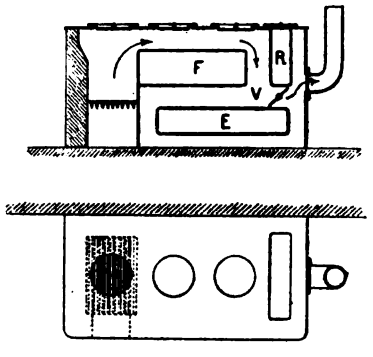


Fig. 635.

Le foyer est disposé pour brûler du coke ou de la houille. La plaque de cuisson est percée de trois ouvertures fermées par des rondelles qu'on enlève suivant les besoins du service. On place les marmites sur l'une ou l'autre des ouvertures ou sur la plaque de cuisson, pour activer ou ralentir le chauffage des mets qu'on prépare.

Les gaz sortant du foyer lèchent la plaque de cuisson, circulent autour du four F et chauffent le réservoir R. Ensuite ils contournent l'étuve E ou passent directement à la cheminée sans chauffer l'étuve, lorsqu'on ouvre le registre V.

Au moment de l'allumage du fourneau, l'ouverture du registre V facilite l'établissement du tirage.

1122. Grand fourneau de cuisine. — Dans les établissements d'instruction publique, les hospices, les prisons, etc..., on prépare des aliments en se servant d'un grand fourneau muni d'un ou de plusieurs foyers. Les gaz de la combustion circulent successivement sous les différentes chaudières, passent ensuite autour des tours et d'un bouilleur dont ils chauffent l'eau et se rendent enfin à la cheminée. Dans certains fourneaux, la grille du foyer est mobile et peut être soulevée à l'aide d'un levier spécial, ce qui permet à volonté de rapprocher le feu

ou de l'éloigner des marmites, suivant les besoins du service.

Au-dessus du foyer se trouvent une série d'anneaux plats à feuillure et un disque en fonte qu'on peut enlever séparément. On obtient ainsi une ouverture plus ou moins grande dans laquelle on vient placer la marmite à chauffer. A la partie basse du fourneau sont disposés des fours en tôle dont les parois sont chauffées par les gaz de la combustion. Les grands fourneaux sont construits en briques et entourés d'une enveloppe en fonte. Ils sont quelquefois doubles et isolés au milieu de la cuisine. La fumée après avoir circulé autour des fours descend dans un carneau établi dans le sol pour se rendre à la cheminée.

Souvent, l'eau froide et l'eau chaude arrivent au-dessous du fourneau et on raccorde sur ces tuyaux des robinets à col de cygne dont l'orifice d'écoulement peut être amené au-dessus des chaudières pour les remplir.

Le fourneau de cuisine le plus complet (fig. 636) comprend cinq parties : 1° les plaques métalliques de cuisson, placées di-

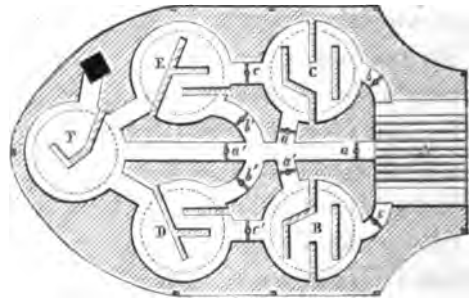


Fig. 636.

rectement au-dessus du foyer et sur lesquelles on prépare les mets qui exigent une température élevée ; 2° les marmites servant à la préparation du bouillon et à la cuisson des légumes, des ragoûts ; 3° les fours à rôtir ; 4° la chaudière à eau chaude ; 5° les étuves ou tours servant à conserver les plats chauds.

Les plaques de cuisson reçoivent l'action du foyer et sont utilisées pour la préparation de toutes sortes de mets. Ces plaques sont presque toujours en fonte et sont percées d'ouvertures

qu'on ferme avec des rondelles à feuillure s'emboîtant l'une dans l'autre et un disque central. Sous l'action de la chaleur, le disque tend à se bomber sur la face exposée au feu; mais, comme il ne porte pas de feuillure, il suffit de le retourner de temps à autre; la déformation se produisant alors sur la face opposée, le disque tend à redevenir plan.

Les chaudières à bouillon ou à soupes, n'étant pas chauffées au delà de 100 degrés, sont placées à la suite du foyer et les carneaux sont établis de manière à permettre de chauffer simultanément les chaudières. En opérant autrement, on serait exposé à trop chauffer la première, pour que la dernière pût atteindre la température convenable.

Les marmites à ragoût sont placées à la suite, et les carneaux qui les desservent sont disposés de façon qu'on puisse, au besoin, envoyer directement sous elles les gaz chauds du foyer sans les faire passer sous les chaudières précédentes. Tous les carneaux sont munis de registres et, en les manœuvrant convenablement et en temps utile, le chef de cuisine peut maintenir partout la température la plus favorable.

Les fours à préparer les rôtis consistent en une chambre dont les parois sont en tôle on en fonte et autour desquelles on fait circuler la fumée. On établit ordinairement les fours sous les marmites à ragoût et de façon qu'ils puissent, au besoin, être chauffés par les gaz sortant du foyer. Les fours sont pourvus extérieurement d'une porte d'accès, et leur fond est percé à la partie supérieure de petits orifices débouchant dans les carneaux, afin d'envoyer dans la cheminée les vapeurs dégagées dans la cuisson des viandes.

Le bouilleur à eau chaude est léché par les produits de la combustion, après qu'ils ont chauffé les autres appareils. Les gaz qui ont circulé au contact du bouilleur peuvent, avant de se rendre à la cheminée, passer entre les doubles parois d'armoires ou *chauffe-plats* en tôle servant à maintenir chauds les mets préparés. Lorsqu'on veut activer le chauffage dans ces armoires, on envoie la fumée directement entre leurs parois sans la faire passer au contact du bouilleur à eau chaude. Cette manœuvre

n'étant que momentanée ne présente aucun inconvénient, car la chaleur perdue des fourneaux permet de chauffer une quantité d'eau supérieure à celle dont on a besoin pour le service de la cuisine.

1123. On emploie souvent la vapeur pour préparer le bouillon et cuire les légumes. Ces opérations s'effectuent dans des bassines à double fond ; un tuyau amène la vapeur pour le chauf-

Fig. 637.

fage et un autre sert à l'écoulement de l'eau condensée. Le service est facile, mais les cuisiniers n'aiment généralement pas à se servir de la vapeur.

En Angleterre, dans presque toutes les grandes cuisines, la vapeur est employée pour la préparation des ragoûts et les pommes de terre sont cuites dans des bains de vapeur.

En France, M. Egrot a établi des cuisines à vapeur dans les hôpitaux, asiles, etc. Une cuisine de ce genre comprend une série

de marmites à double fond (fig. 637) montées chacune sur deux tourillons par lesquels entre la vapeur et sort l'eau condensée. Chaque marmite est fermée par un couvercle équilibré dont on règle à volonté l'ouverture ; on peut la renverser pour la vider.

1124. Cuisine au gaz. — En général, lorsqu'on expose un corps froid à la flamme éclairante d'un bec de gaz, la combustion est entravée et il se dépose, à la surface du corps, une couche de noir de fumée formé par le carbone qui échappe à la combustion.

Pour éviter cet inconvénient, on a cherché à brûler le gaz après l'avoir mélangé avec une certaine quantité d'air atmosphérique. Dans ces conditions, la combustion s'effectue en donnant lieu à une flamme bleue peu éclairante qui ne produit pas de dépôt de noir de fumée sur les corps froids soumis à son action.

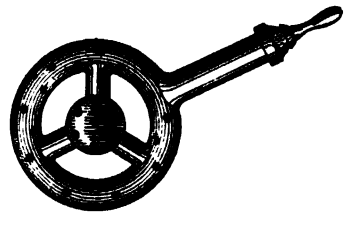


Fig. 638.

L'appareil de combustion le plus simple consiste soit en brûleurs cylindriques appelés *chandelles*, soit en couronnes percées d'orifices par lesquels sort le gaz à brûler. Les brûleurs cylindriques sont peu employés en raison des nettoyages fréquents qu'ils doivent subir. On préfère pour la cuisine se servir de brûleurs en couronne imaginés par Bengel. Les brûleurs sont alimentés, en général, par un mélange de gaz et d'air atmosphérique qu'on obtient de la manière suivante : le gaz est lancé par un petit ajutage disposé dans l'axe du tube d'adduction à la couronne. Ce jet de gaz produit une dépression à l'entrée du tube, lequel est ouvert à l'air libre, et il en résulte un appel de l'air extérieur qui vient se mélanger avec le gaz injecté. Le mélange sort par les orifices de la rampe qui peuvent être disposés sur le sommet du brûleur ou sur plusieurs circonférences concentriques de la couronne. On dispose quelquefois deux ou trois couronnes concentriques (fig. 638) qu'on peut raccorder par deux ou trois tubes adducteurs ; cette disposition permet de mieux répartir la chaleur dégagée par la combustion

du gaz, en assurant l'arrivée de l'air extérieur au contact des jets de flamme des couronnes.

D'après M. Germinet, les dépenses de gaz faites avec divers brûleurs pour amener de 0° à 100° la température d'un litre d'eau sont les suivantes :

Brûleur à toile métallique.....	36 à 37	litres.
— à 6 tubes Bunsen.	35 à 40	—
Champignon à flammes divisées.....	48 à 57	—
— à flamme pleine.....	37	—
Couronne à jets divisés verticaux...	42	—
— — convergents..	44	—
— — convergents et divergents..	52	—

La dépense pour un brûleur donné augmente avec la pression dans la conduite mais, par contre, le temps nécessaire au chauffage se trouve diminué.

1125. Petit fourneau système Vielliard. — Cet appareil (fig. 639) se compose d'un fourneau avec brûleur à couronne, placé au-dessus d'un four à rôtir muni d'une rampe à gaz. Le brûleur circulaire (fig. 640) alimenté par un mélange de gaz et d'air atmosphérique donne une flamme bleue. Il est percé d'ori-

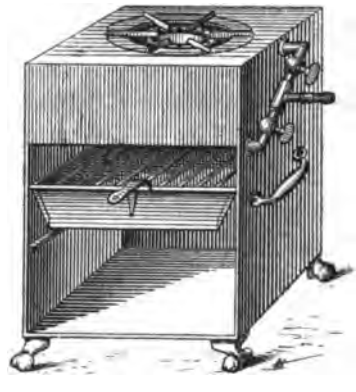


Fig. 639.

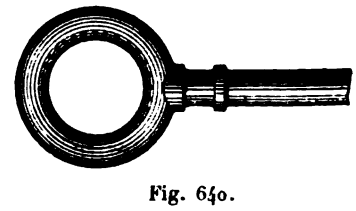


Fig. 640.

fices disposés sur une circonférence de la couronne et vers l'intérieur de cette dernière, de façon que les jets de flamme soient convergents et que la chaleur soit mieux concentrée. La combustion du mélange de gaz et d'air atmosphérique donne

lieu à une flamme bleue, peu éclairante et s'effectue sans dépôt appréciable. Le fourneau peut être appliqué au chauffage de l'eau et à la préparation des aliments.

Le four à rôtir est formé d'une chambre en tôle, ouverte en partie sur le devant, et recevant une grille ou une broche au-dessous de laquelle on place une lèche-frite. Immédiatement au-dessus de la pièce à cuire se trouve une rampe à gaz placée sous le ciel du four. Dans ce cas, le gaz n'est pas mélangé d'air avant sa combustion et brûle avec une flamme éclairante dont les jets sont dirigés dans le sens horizontal vers le fond du four. Le départ des produits de la combustion s'effectue par une ouverture étroite, s'étendant sur toute la longueur du fond et disposée à quelques centimètres en contre-bas de la tôle qui forme le ciel du four.

Cette disposition a pour but de faire servir les gaz, dont la température est très élevée, au chauffage de cette tôle qui rayonne sur la pièce à rôtir. Afin de combattre le refroidissement extérieur de cette paroi, les gaz chauds, en s'échappant pour se rendre à la cheminée, passent au-dessus d'elle dans un espace libre ménagé sous la plaque supérieure du fourneau. Souvent même, on supprime la cheminée et on se contente de les laisser se dégager sous la hotte qui surmonte le fourneau.

1126. Fourneau de cuisine, système Vielliard. — Cet appareil peut suffire aux besoins d'une famille de six à huit personnes. Il se compose (fig. 641) d'une rôtisserie, d'un grilloir, d'un bain-marie, d'un foyer à poissonnière et de deux autres fourneaux avec brûleurs en couronne. Chaque compartiment est pourvu de sa rampe à gaz, ce qui permet de ne mettre en service que la portion de l'appareil qu'on désire utiliser. La chaleur émise par la rampe du four à rôtir, chauffe la tôle du four supérieur. Les produits de la combustion montent ensuite à droite et à gauche pour chauffer les parois latérales. Une rampe supplémentaire placée près du ciel du four à cuire, est mise en feu pour activer la cuisson ou pour dorer les pièces lorsqu'elles achèvent de cuire.

M. Vielliard avait en service à l'Exposition universelle de

1889, divers modèles de fourneaux, analogues à ceux qu'il a établis dans certains hôpitaux et qui sont divisés en compartiments pourvus chacun d'une rampe, de telle sorte que les foyers restent indépendants et réglables à volonté, comme dans le fourneau précédent. On peut, au besoin, ne mettre en fonction qu'une partie

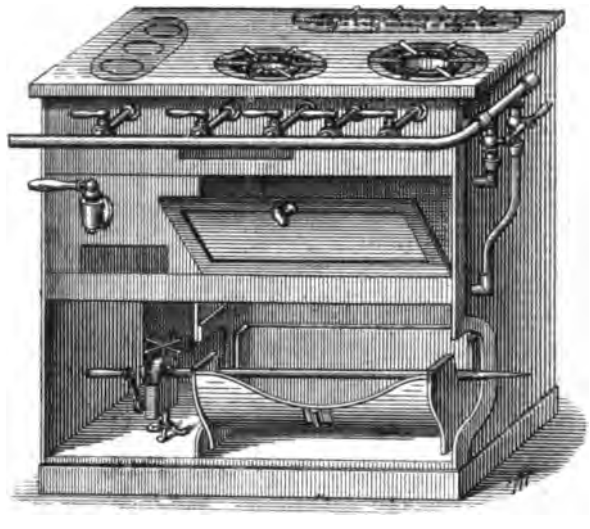


Fig. 641.

de l'appareil. Dans des fourneaux ainsi constitués, la répartition de la chaleur se fait mieux que lorsqu'on a de grands fours servant à rôtir un certain nombre de pièces de viande à la fois.

1127. Chauffage des bains. — Les appareils à gaz employés dans ce but sont de trois espèces différentes : appareil à contact direct, appareil à bouilleur et appareil à circulation.

1128. Appareil à contact direct, système Vielliard. — Cet appareil (fig. 642) se compose d'un réservoir cylindrique à la base duquel sont disposées une série de rampes à gaz brûlant à flamme bleue. Au-dessus des brûleurs est un diaphragme conique percé en son milieu d'une ouverture protégée par un chapeau légèrement conique. Sur ce chapeau se trouve placée une pomme d'arrosoir percée de petits orifices par lesquels l'eau en pression est lancée vers le haut du réservoir pour re-

tomber en pluie à sa base. Pour éviter que l'eau ne soit lancée dans la cheminée d'évacuation des gaz brûlés, lorsque la pression est trop considérable dans la conduite d'amenée, la colonne liquide vient frapper contre un diaphragme placé un peu en contre-bas de l'orifice de la cheminée. Les gaz chauds de la combustion traversant l'appareil se trouvent en contact intime avec l'eau à chauffer et lui cèdent une partie de leur chaleur.

En réglant la dépense de gaz et l'arrivée de liquide, il est facile d'obtenir de l'eau chauffée à la température de 32° environ. Le liquide chauffé se réunit autour du diaphragme inférieur du réservoir et s'écoule dans la baignoire. Cet appareil permet d'obtenir de l'eau chaude instantanément et de chauffer un bain en 20 à 25 minutes. La dépense de gaz est d'environ 1 mètre cube pour un bain ordinaire.

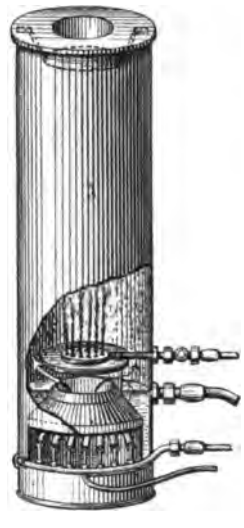


Fig. 642.

Un appareil de $0^m,33$ de diamètre et de $0^m,85$ de hauteur fournit 8 litres d'eau chaude par minute.

1129. Appareil à bouilleur. — Cet appareil (fig. 643) se compose d'un réservoir annulaire fermé par un chapeau conique du sommet duquel part la cheminée. A l'intérieur du réservoir se trouve placé un bouilleur vertical cylindrique avec lequel il communique en haut et en bas par des tubulures réservées à cet effet. Le réservoir et le bouilleur étant remplis d'eau, on allume les rampes à gaz, brûlant à flamme bleue et disposées sous le bouilleur à l'intérieur du réservoir. Les produits de la combustion traversent l'espace annulaire qui reste libre entre le réservoir et le bouilleur, et se rendent ensuite à la cheminée. La capacité de l'appareil est telle qu'on puisse chauffer de 10° à 35°, en une seule fois, l'eau d'un bain ordinaire. On dépense un peu plus d'un mètre cube de gaz par opération dont la durée est de 30 à 35 minutes.

On dispose souvent à la base des appareils de chauffage de l'eau, un chauffe-linge qui surmonte un foyer à réflecteur (fig. 643) procurant le chauffage facultatif de la salle de bains et servant en même temps de socle à l'appareil à bouilleur.

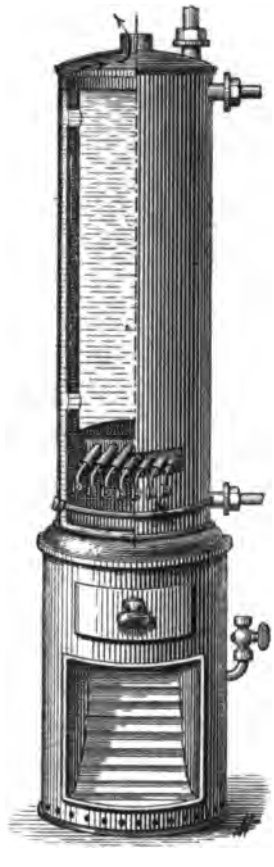


Fig. 643.

Dans d'autres installations, le chauffe-linge est placé au-dessus du bec de gaz qui sert à éclairer la salle de bains.

1130. Appareil à circulation. — On dispose à côté de la baignoire un petit récipient vertical avec lequel elle communique par deux conduits placés l'un à sa base et l'autre à sa partie supérieure. Le récipient est pourvu d'un foyer intérieur dans lequel sont disposés les brûleurs. Du ciel du foyer part un serpentin dans lequel passent les gaz de la combustion se rendant à la cheminée. Sous l'action de la chaleur, il s'établit entre la baignoire et le récipient une circulation continue qui amène au bout d'un certain temps le chauffage de l'eau de la baignoire. Pour diminuer les pertes de chaleur par les parois, on peut entourer le bouilleur d'une enveloppe isolante et placer sur la baignoire une couverture de laine qui descend jusqu'au sol. Si l'on ne prend pas ces précautions, le chauffage d'un bain peut, en hiver, durer plus d'une heure et demie.

Ce système présente cet inconvénient que, l'eau du bain communiquant librement avec le bouilleur, celui-ci s'encrasse; comme son nettoyage est difficile, l'eau de la baignoire n'est jamais bien propre. D'autre part, les produits de la combustion donnent toujours lieu à une condensation d'eau abondante, au

contact de parois dont la température ne dépasse pas ordinairement 35° C. Ces appareils sont inférieurs aux précédents et sont moins employés.

1131. Remarques. — Ainsi que nous l'avons fait observer (**51**) le gaz est un combustible qui coûte cher, si on le compare à la houille et même au bois, mais on peut l'allumer et l'éteindre sans perte de combustible, et ne chauffer que la partie du fourneau qui a besoin d'être mise en service ; aussi, dans les chauffages intermittents, il permet souvent de réaliser une économie.

Il est important de remarquer que, lorsqu'on emploie des appareils à gaz, il faut absolument ventiler le local dans lequel ils se trouvent, et qu'il y a lieu de prendre les dispositions nécessaires pour évacuer les produits de la combustion et éviter qu'ils ne se mélangent à l'atmosphère du local. Si ces précautions sont négligées, les gaz de la combustion qui se dégagent dans la pièce, peuvent à la longue avoir une influence très fâcheuse sur la santé des occupants, en même temps qu'ils détériorent les peintures, les tentures, etc.

CHAPITRE VII

REFROIDISSEMENT

Le refroidissement a pour but d'abaisser la température d'un corps. Pour obtenir ce résultat, il faut avoir à sa disposition ou pouvoir se procurer facilement un corps froid.

Les procédés employés diffèrent suivant qu'on veut obtenir une température peu différente de celle de l'air ambiant, ou bien réaliser des températures basses, souvent inférieures à celle de la glace fondante.

DIVERS MODES DE REFROIDISSEMENT A DES TEMPÉRATURES SUPÉRIEURES A CELLE DE LA GLACE FONDANTE.

1132. Refroidissement à une température peu différente de celle de l'air ambiant. — Pour refroidir un corps à la température ambiante ou à une température peu différente de celle-ci, on peut recourir à différents procédés :

— Exposer le corps à l'air ou le plonger dans un liquide plus froid que lui ;

— Utiliser l'évaporation d'un liquide ;

— Faire absorber la chaleur du corps par une paroi froide.

Ces divers moyens sont utilisés pour refroidir les corps chauds, les moûts de bière, les eaux de condensation des machines à vapeur et aussi, en été, dans certains cas, pour rafraîchir l'air destiné à la ventilation des lieux habités.

1133. Refroidissement à la température ambiante. — Quand il s'agit de refroidir un corps qui a été chauffé artificiellement et possède une température supérieure à celle de l'atmosphère, on a à sa disposition et en grandes masses l'eau de puits, de source ou de rivière ainsi que l'air atmosphérique.

La température de l'air atmosphérique subit de grandes variations dans nos climats. Elle peut s'abaisser pendant l'hiver, à $-10°$ et même exceptionnellement à $-30°$ et atteindre en été $+30°$ et quelquefois $+35°$. Le pouvoir refroidissant de l'air dépend donc beaucoup de la saison.

La température de l'eau est beaucoup moins variable. Pour l'eau de source et celle de puits, elle est à peu près constante et comprise entre 10° et 15°; pour l'eau de rivière elle varie davantage. Quand on se sert de l'air ou de l'eau pour refroidir, la limite du refroidissement est nécessairement le degré de température de ces fluides eux-mêmes, sauf dans le cas où l'on fait intervenir l'évaporation, qui permet d'abaisser de quelques degrés au-dessous de celle du fluide réfrigérant la température du corps à refroidir.

Lorsqu'il s'agit d'un liquide, le mélange direct avec un autre liquide froid est, dans certains cas, le mode le plus simple et le plus rapide de refroidissement. C'est ainsi que, pour diminuer la température de l'eau chaude d'un bain, il suffit d'ajouter dans la baignoire une certaine quantité d'eau froide; on obtient ainsi rapidement la température intermédiaire que l'on désire.

Connaissant le poids P et la température T de l'eau chaude qu'on veut refroidir, ainsi que la température θ de l'eau froide qu'on ajoute, il est facile de déterminer le poids p d'eau froide nécessaire pour ramener le bain à une température t.

En admettant que la chaleur perdue par l'eau chaude ait été complètement gagnée par l'eau froide, on a, entre les divers éléments qui précèdent, la relation

$$P(T-t)=p(t-\theta)$$

qui permet de calculer p. Si, au contraire, on connaît p, l'équation permettra de déterminer t.

1134. Refroidissement de l'air. — Lorsqu'il s'agit de refroidir l'air, on peut le faire passer à travers une mince couche d'eau. L'appareil employé dans ce cas se compose d'une caisse rectangulaire divisée en deux par une cloison en tôle galvanisée, percée d'un très grand nombre de petits trous et légèrement inclinée.

L'eau, aussi froide que possible, se déverse par une rigole supérieure sur toute la surface de la cloison et coule en formant une couche mince. L'air à refroidir est lancé par un ventilateur dans le compartiment inférieur, passe par les petits trous, traverse la nappe d'eau, lui cède une partie de sa chaleur, et s'échappe, par le conduit qui surmonte la caisse, à une température inférieure de quelques degrés à sa température d'entrée.

On dépense un travail assez considérable pour forcer l'air à traverser la couche de liquide. Pour débiter ainsi 1 mètre cube d'air par 1", soit 3600 mètres cubes par heure, au travers d'une couche d'eau de 0,025 d'épaisseur, il faut dépenser théoriquement $1 \times 25 = 25^{\text{kgm}}$. et en pratique, il y a lieu de compter au moins le triple, c'est-à-dire un cheval-vapeur, à cause des résistances accessoires et du rendement dont il faut tenir compte.

Cette disposition pourrait être à l'inverse employée pour chauffer de l'air, en hiver, au moment où l'eau des puits est souvent à une température supérieure à celle de l'air atmosphérique.

Un autre moyen simple de refroidir l'air consiste à le faire circuler dans des galeries souterraines, à une profondeur de plusieurs mètres, où la température reste toujours voisine de 12°.

L'air qui parcourt la galerie pourra, pendant l'été, être refroidi très notablement par son contact avec les parois. Si la circulation est continue, celles-ci s'échauffent et le refroidissement, assez rapide dans les premiers moments, est beaucoup diminué au bout d'un certain temps. Quand la circulation est intermittente, comme dans le cas où il s'agit de ventiler une salle de réunion, d'assemblée, de théâtre, etc., les parois de la galerie s'échauffent un peu pendant le passage de l'air, mais elles reprennent leur température lorsque, dans l'intervalle des séances, la ventilation se trouve suspendue, et ce moyen de refroidissement peut être très efficace. Un procédé de ce

genre est appliqué à la nouvelle Sorbonne où il rend de grands services.

A la Chambre des députés, l'air destiné à la ventilation de la salle des séances circulait, au préalable, dans des galeries souterraines et pouvait être refroidi de 4°, 5° et même de 8°, à tel point qu'on a été obligé de le réchauffer en été, au mois d'août, pour qu'il ne parût pas trop frais en arrivant dans la salle.

Lorsqu'on a mis en service la ventilation de la grande salle des fêtes du Palais du Trocadéro, construit par MM. Davioud et Bourdais, on a fait des constatations analogues. La ventilation était produite à l'aide de ventilateurs hélicoïdaux de $3^m,50$ de diamètre, établis par MM. Geneste et Herscher et dont le débit pouvait s'élever à 100 000 mètres cubes à l'heure. Cet air circulait dans des carrières voisines où règne une température d'environ 11°, ou bien il était pris directement au dehors et se trouvait, dans ce cas, à la température ambiante. On pouvait aussi à volonté le faire venir de ces deux sources à la fois.

On a dû renoncer à abaisser de plus de 4° à 5°, par rapport à celle de l'extérieur, la température de l'air introduit dans la salle pendant son occupation par le public. Ainsi, durant les chaleurs de l'été, lorsque la température ambiante était de 30° C., il a fallu conserver à l'air de ventilation une température minima de 25°; l'écart maximum était donc de 5° C. Chaque fois qu'on a essayé de dépasser cette limite de refroidissement, les assistants se plaignaient de la trop grande fraîcheur de la salle.

1135. Refroidissement par évaporation de l'eau. — Pour refroidir un corps et abaisser sa température au-dessous de celle du milieu ambiant, on peut utiliser l'évaporation de l'eau. Pour appliquer ce procédé au refroidissement de l'air, on s'est servi de toiles sans fin enroulées sur des cylindres animés d'un mouvement de rotation. Les différentes parties des toiles viennent successivement plonger dans une bâche pleine d'eau et on fait circuler l'air à refroidir au contact de ces toiles mouillées.

Un moyen plus simple et qui permet de précipiter les corpuscules solides que l'air entraîne consiste à le faire passer au milieu d'un véritable nuage d'eau pulvérisée qu'on obtient

en lançant sous forte pression (quelques atmosphères) un mince jet d'eau d'environ un millimètre de diamètre sur la face d'un petit disque contre laquelle il se brise; l'eau se disperse alors et se réduit en fine poussière. Ce moyen est employé à la nouvelle Sorbonne, à l'Hotel de Ville, etc.. Au Parlement de Londres, l'air déjà rafraîchi par une pulvérisation d'eau passe ensuite au contact de morceaux de glace. On obtient ainsi un abaissement de température de plusieurs degrés.

La pulvérisation d'un liquide est un moyen qui permet d'obtenir très simplement une grande surface de contact entre ce liquide et l'air à refroidir. Dans ce genre d'appareils l'abaissement de température de l'air au contact de l'eau froide est encore accru par l'évaporation qui se produit toujours en raison de ce que l'air affluent n'est jamais complètement saturé.

Cette évaporation augmente le refroidissement et peut produire à elle seule un abaissement de quelques degrés. A ce point de vue l'évaporation est favorable, mais elle peut être nuisible dans certains cas, en augmentant l'état hygrométrique de l'air, ce qui peut donner lieu à des condensations gênantes.

Le général Morin a tenté quelques expériences sur le procédé suivant. Il faisait lancer par une pomme d'arrosoir de l'eau refoulée à l'aide d'une pompe mue à bras d'homme. On a dépensé à l'heure $1^{m^3},750$ d'eau prise à des températures variant de 13° à 25°. Dans ces essais, il n'y a pas eu, à proprement parler, pulvérisation de l'eau ; ou était donc dans de mauvaises conditions. L'air à refroidir, dont la quantité n'a pas été indiquée, était appelé à 25° et s'est trouvé ramené à 23° environ. L'abaissement de température a été en moyenne de 2°.

L'expérience se faisait devant la prise d'air du grand amphithéâtre du Conservatoire des arts et métiers. L'état électrique et ozonométrique de l'air n'a pas été sensiblement modifié. On a seulement constaté quelques taches sur les papiers amido-iodurés.

Le général Morin n'a pas mesuré le volume d'air sur lequel il opérait, mais il est possible d'évaluer l'abaissement de température qu'on pourrait obtenir en admettant que l'air absorbe une quantité d'eau déterminée.

Nous savons qu'un mètre cube d'air à 25° et saturé renferme 22,8 grammes de vapeur d'eau. Supposons que cet air arrive à moitié saturé et qu'il absorbe 2 grammes de vapeur d'eau, le nombre de degrés d'abaissement de température sera déterminé approximativement par l'équation

$$x \times 1,3 \times 0,2378 = 0,002 \times 597$$

d'où

$$x = 4°.$$

Dans cette relation, 1,3 kilogr. est le poids d'un mètre cube d'air, 0,2378 sa capacité calorifique, 597 le nombre de calories nécessaire pour vaporiser, à 25°, un kilogramme d'eau pris à la température moyenne de 17°.

La température de l'air ainsi refroidi pourrait descendre à 21° et comme, à cette température, l'air saturé contient 18,2 gr. de vapeur d'eau, on voit qu'il pourrait encore en absorber $18,2 - 13,4 = 4,8$ gr. par mètre cube, dans l'hypothèse où sa température reste stationnaire à 21°.

On se sert aussi de l'évaporation de l'eau pour abaisser la température de ce liquide.

Ce procédé est en usage dans les pays chauds pour rafraîchir l'eau destinée à la boisson. On emploie, dans ce but, des vases en terre poreux dits *alcarazas* qu'on remplit d'eau à la température ambiante et qu'on expose à l'action d'un courant d'air. Ces vases sont placés à l'ombre, afin d'éviter que la chaleur rayonnante du soleil n'empêche le refroidissement de l'eau contenue dans ces vases malgré l'évaporation du liquide qui filtre à travers leurs parois. Ce moyen de refroidissement est toujours irrégulier.

1136. Refroidissement de l'eau de condensation des machines à vapeur. — Toutes les fois qu'il est difficile de se procurer de l'eau froide en quantité suffisante pour la condensation des vapeurs qui proviennent soit d'une machine, soit d'un appareil d'évaporation, ou bien lorsque les eaux dont on dispose sont incrustantes, on refroidit l'eau chaude sortant des

condenseurs afin de pouvoir la réemployer. On se sert, pour le refroidissement, d'un appareil connu sous le nom de réfrigérant à fascines. Cet appareil est formé d'une charpente en bois à plusieurs étages, reposant sur le radier d'un grand bassin en maçonnerie de peu de hauteur. Les divers étages, espacés de $1^{m},50$ environ, sont tous, sauf le plus élevé, garnis d'un lit de fascines ou fagots de menu bois. A l'étage supérieur se trouvent disposées de nombreuses gouttières horizontales à bords dentelés. L'eau chaude à refroidir est amenée dans ces gouttières et, par le bas des dentelures, se déverse en minces filets sur le premier lit de fascines, puis tombe sur le second, et ainsi de suite jusqu'au moment où elle arrive dans le réservoir inférieur. Sa température est alors suffisamment abaissée et une pompe la reprend pour la renvoyer aux condenseurs. L'air circulant librement entre les divers étages de fascines produit une évaporation abondante qui favorise le refroidissement. La pluie ne gêne pas l'opération, car si l'évaporation se trouve diminuée, l'eau qui tombe, se mélangeant à l'eau chaude, aide à la refroidir.

Le réfrigérant à fascines est employé dans la plupart des sucreries, où l'on a besoin d'une énorme quantité d'eau froide pour la condensation des vapeurs des caisses d'évaporation à triple effet et des appareils à cuire dans le vide.

Une autre disposition consiste à envoyer l'eau à refroidir dans une bâche dont le fond perforé est garni de cordes pendantes. Au-dessous est une autre bâche servant de réservoir pour l'eau refroidie. L'intervalle entre les deux bâches est fermé par une enveloppe métallique, qui communique par l'une de ses aces avec un ventilateur insufflant et dont la face opposée est reliée à une gaine d'évacuation.

1137. Refroidissement par transmission à travers une paroi. — Le refroidissement comme le chauffage peut s'opérer par transmission à travers une paroi métallique.

Les mêmes phénomènes de convection et de conductibilité se produisent avec les mêmes lois et les mêmes coefficients sont applicables.

Pour donner un exemple, on peut choisir les appareils em-

ployés, dans la fabrication de la bière, à refroidir le moût avant sa fermentation.

On se sert souvent de grands bacs où le liquide est soumis sur une faible surface à l'action refroidissante de l'air extérieur.

C'est un procédé lent et irrégulier et qui expose la bière aux altérations qu'on a tant à redouter dans les brasseries.

Pour opérer plus vite, on emploie des réfrigérants dans lesquels on établit une circulation d'eau. Le principe de tous ces appareils est de faire circuler de l'eau aussi froide que possible dans des conduits baignés par un courant de moût houblonné en ayant soin d'opérer méthodiquement.

1138. Réfrigérant Tamisier. — Il se compose d'une série de plaques de cuivre étamées, disposées en zigzags parallèles, de manière à laisser entre elles deux conduits plats superposés de $0^m,03$ de hauteur. Dans le conduit supérieur circule la bière allant de la gauche vers la droite; l'eau arrive de l'autre côté dans la conduite inférieure et la parcourt en sens inverse. On active le refroidissement par des injections d'eau froide sur les plaques supérieures.

Un réfrigérant de 12 mètres de long et de 56 m^2 de surface développée peut refroidir en une heure 52 hectolitres de moût de 80° à 25°. On emploie par hectolitre de moût 110 litres d'eau prise à 12°; la dépense totale est donc de 5 720 litres d'eau qui s'échauffent de 12° à 40°.

La chaleur abandonnée par le moût est 5 200 (80°-25°) = 286 000 calories, l'eau en absorbe 5 720 (40°-12°) = 160 160; le reste est emporté par l'air ambiant, perdu par le rayonnement et enlevé par l'évaporation.

Chaque mètre carré transmet $\frac{286\,000}{56} = 5\,100$ calories environ.

La différence moyenne de température étant

$$\frac{80+25}{2} - \frac{12+40}{2} = 52,5 - 26 = 26^\circ,5.$$

La transmission par degré d'écart est

$$\frac{5100}{26,5} = 192 \text{ calories.}$$

On peut donc compter sur une transmission de 180 à 200 calories par mètre carré, par heure et par degré d'écart de température.

Nous avons trouvé (n° **125**) des nombres variant de 64 à 280^{cal}, suivant la rapidité du mouvement.

1139. Réfrigérant Neubecker. — Dans cet appareil, on fait passer le moût de bière chaud dans deux séries de tubes parallèles autour desquels de l'eau froide circule en sens inverse du liquide à refroidir.

Le réfrigérant représenté figure 644, *a*, *b*, *c*, se compose de dix-huit enveloppes cylindriques en fonte, placées sur deux rangs parallèles et renfermant chacune seize tubes en cuivre (fig. 644, *b*), de section rectangulaire, de largeur variable et

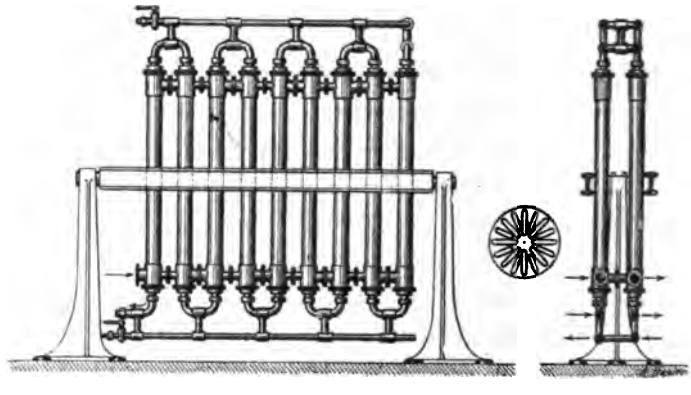


Fig. 644 *a*, *b*, *c*.

groupés symétriquement. Les enveloppes sont reliées entre elles par des tubulures horizontales réservées à la base et au sommet de la chambre comprise entre les deux plaques tubulaires, dans lesquelles sont fixées les extrémités des tubes en cuivre aplatis à l'intérieur desquels circule le moût.

Ces tubes communiquent avec le groupe voisin par des pièces de raccord courbes sur lesquelles sont branchés deux tuyaux servant à l'introduction et à la sortie de l'eau de lavage destinée à nettoyer l'intérieur des tubes après chaque opération. Le réfrigérant est fixé dans un cadre formé de deux poutres en fer dont les extrémités sont munies de tourillons supportés par

deux pieds en fonte et permettant d'amener l'appareil dans le plan horizontal. Cette disposition a été prise en vue de faciliter le démontage et le nettoyage. Le moût arrive à l'une des extrémités de l'appareil et parcourt successivement chaque groupe de tubes rectangulaires. L'eau froide entre par l'extrémité opposée, circule autour de ces mêmes tubes et vient sortir près de l'entrée du liquide chaud. Il résulte de cette combinaison que le moût se trouve au contact de parois de plus en plus froides à mesure que sa température s'abaisse.

On peut, au besoin, accoupler plusieurs réfrigérants pour obtenir un refroidissement plus complet et on a constaté que même avec un seul appareil, en employant de l'eau glacée, la température du moût à sa sortie du réfrigérant pouvait être réduite à 3 ou 4° C.

1140. Réfrigérant Baudelot. — Dans les deux appareils que nous venons de décrire, le moût pendant son refroidis-

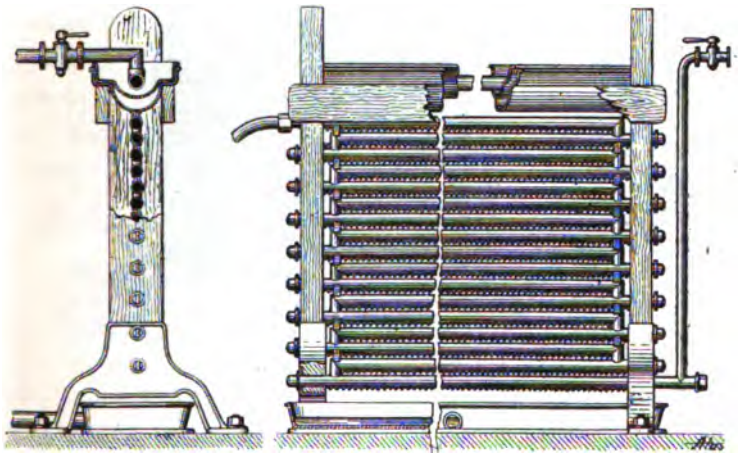


Fig. 645.

sement reste à l'abri du contact de l'air. Dans le réfrigérant de M. Baudelot, au contraire, le moût coule autour de tuyaux horizontaux dans lesquels circule l'eau servant à le refroidir ; il reste donc exposé à l'air et on a multiplié le plus possible les surfaces de contact entre ces deux fluides afin d'obtenir une

oxydation rapide et une aération partielle du moût, sans laisser ce liquide exposé trop longtemps aux germes de l'air.

L'appareil Baudelot (fig. 645) se compose d'un certain nombre de tuyaux horizontaux superposés et formant un serpentin dans lequel monte l'eau de refroidissement ; le moût, après son passage au travers d'une toile métallique fine destinée à arrêter les corps étrangers, arrive dans une gouttière percée d'une multitude de petits orifices par lesquels il se répartit sur toute la longueur du tuyau supérieur du serpentin réfrigérant, coule successivement à la surface des tubes placés en contre-bas et finalement arrive dans un bassin inférieur d'où il se rend aux cuves de fermentation.

Afin de diviser le plus possible le liquide qui coule sur les tubes, chacun d'eux est muni tout le long de sa génératrice inférieure

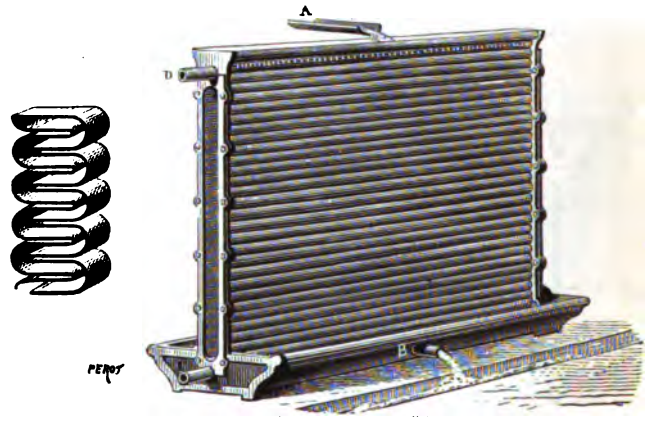


Fig. 646.

d'une petite bavette dont le bord dentelé force le liquide à couler en petits filets entre lesquels l'air peut circuler avec facilité.

Le nettoyage extérieur est très facile et des dispositions particulières ont été prises pour permettre aisément la visite de l'intérieur des tubes du réfrigérant.

On emploie fréquemment aussi le réfrigérant *Lawrence* (fig. 646) formé de deux surfaces métalliques ondulées repliées sur elles-mêmes et entre lesquelles circule de l'eau froide ; cette

disposition a pour but d'accroître les surfaces de contact entre le moût et l'eau sans augmenter la hauteur de l'appareil.

1141. Refroidissement de l'air. — Dans les chaleurs de l'été, la température de l'air extérieur s'élève parfois à 30° et 35°. Si l'on veut rafraîchir un peu l'air qu'on utilise à la ventilation des lieux habités on peut, en dehors des procédés que nous avons déjà indiqués, se servir de surfaces métalliques refroidies par un courant d'eau.

A l'Institut, l'appareil établi dans ce but se composait de deux grands coffrages en tôle, toujours remplis d'eau renouvelée par une pompe. Des tuyaux cylindriques traversaient ces coffres et la masse d'eau qu'ils contenaient. Ils étaient parcourus par un courant d'air refoulé par un ventilateur mis en mouvement par des hommes. Cet air subissait un abaissement notable de température, au contact des parois métalliques refroidies et venait déboucher à l'extrémité de la salle des séances.

1142. Le général Morin a fait au Conservatoire des arts et métiers quelques expériences sur un appareil composé d'un serpentin dans lequel circulait de l'eau froide et placé dans une gaine annulaire que parcourait l'air à refroidir. L'eau venait d'un petit réservoir dans lequel on pouvait mettre de la glace.

On mesurait le volume V d'eau débité, les températures de l'eau t à l'entrée et T à la sortie du serpentin; la température moyenne était

$$\frac{T+t}{2}=T_1.$$

On faisait circuler l'air au moyen de l'appel d'une couronne portant 17 becs qui brûlaient jusqu'à 1400 litres de gaz à l'heure.

On mesurait le volume V′ de l'air sortant, sa température, T′ à l'entrée et t' à la sortie; la température moyenne était

$$\frac{T'+t'}{2}=T'_1.$$

Appelant d la densité moyenne de l'air, la quantité de chaleur perdue par ce fluide est

$$C'=V'd(T'-t')0,2378.$$

La quantité de chaleur cédée à l'eau est

$$C = 1000V(T - t).$$

Le rapport $\frac{C'}{C}$ est le rendement.

Si S est la surface et Q le coefficient de transmission, on a :

$$1000V(T - t) = QS(T'_1 - T_1)$$

d'où

$$Q = \frac{1000V(T - t)}{S(T'_1 - T_1)}.$$

Le général Morin, en opérant avec un serpentin de $10^{m^2},44$ de surface placé dans le conduit de section annulaire, a trouvé les résultats consignés dans le tableau suivant (page 599).

La vitesse moyenne dans l'espace annulaire de section $0^{m^2},288$ où se trouvait le serpentin était $0^m,45$ et le débit $0,45 \times 0,288 = 0^{m^3},129$; dont la racine carrée est 0,36.

La formule $16\sqrt{v}$ (n° 84, tome Ier, page 155), donnerait seulement 5,76 au lieu de 8,59.

De ces expériences il résulte :

1° Que la quantité de chaleur abandonnée par l'eau est indépendante de la vitesse puisque le produit v (T-t) est sensiblement constant ;

2° Que le coefficient Q de transmission est 8,59 en moyenne.

Si, d'après cela, on cherche la surface nécessaire pour refroidir l'air de la salle de l'Institut pouvant contenir 300 personnes, à chacune desquelles on fournit 25 m. c. par heure, soit en totalité 7500 m. c, on trouve que, pour faire descendre de 25° à 20° la température de cet air, il faudra absorber une quantité de calories

$$C' = 7500 \times 1,23(25 - 20)0,2378 = 10968.$$

D'après le tableau suivant, le rendement étant 0,450 l'eau devra absorber

$$C = \frac{C'}{0,45} = 24373 \text{ calories.}$$

Résultats des expériences faites au Conservatoire des arts et métiers en mai et juillet 1866 sur le refroidissement de l'air par son contact avec des surfaces métalliques mouillées de l'autre côté par un courant d'eau fraîche.

EAU.						AIR.												
VOLUME D'EAU écoulé par heure.	VITESSE DE L'EAU en une seconde dans le serpentin.	TEMPÉRATURE DE L'EAU. Entrée.	TEMPÉRATURE DE L'EAU. Sortie.	DIFFÉRENCE.	CHALEUR ACQUISE PAR L'EAU. $C = 1000 \times V(T - t)$	VOLUME D'AIR écoulé par heure.	VITESSE MOYENNE dans la cheminée.	TEMPÉRATURE DE L'AIR. Entrée.	TEMPÉRATURE DE L'AIR. Sortie.	DIFFÉRENCE.	DENSITÉ MOYENNE de l'air.	CHALEUR PERDUE PAR L'AIR. $C' = V'(T' - t')d$	RENDEMENT.	TEMPÉRATURES MOYENNES. AIR.	TEMPÉRATURES MOYENNES. Eau.	COEFFICIENTS DE TRANSMISSION.	POIDS DE GLACE employé par heure.	PRODUIT $v(T - t)$
V	v	t	T	T—t	C	V'	v'	T'	t'	T—t'	d	C'	$\frac{C'}{C}$	T_1'	T_1	Q	P	$v(T-t)$
0,349	0,137	4,70	7,43	2,73	882,77	203,60	0,44	19,68	13,00	6,68	1,209	488,90	0,554	16,44	6,06	8,14	200	0,374
0,320	0,125	2,90	5,90	3,00	960,60	236,70	0,51	16,87	10,95	5,92	1,240	410,90	0,428	13,91	4,40	9,66	185	0,375
0,152	0,059	1,68	7,22	5,54	842,00	193,44	0,41	18,24	11,06	7,18	1,240	407,76	0,485	14,65	4,45	7,90	175	0,327
0,080	0,031	3,20	15,00	11,80	944,00	206,16	0,44	22,60	16,50	6,10	1,210	360,78	0,382	19,55	9,10	8,65	190	0,366
Moyenne.....					907,19	208,47	0,45			6,47			0,450			8,59		0,360

Admettons qu'on emploie de l'eau à 15° et qu'elle s'échauffe à 20°, la température moyenne du liquide sera 17°,5; l'écart moyen entre la température des deux fluides en présence sera :

$$\frac{25+20}{2}-\frac{15+20}{2}=22,5-17,5=5^\circ$$

la surface de refroidissement devra être $S=\frac{24\,373}{8,59\times 5}=567^{m^2}$. Une installation aussi importante n'est pas acceptable.

Si on se servait de glace, comme il a été constaté dans les expériences qui précèdent que, pour abaisser de 6° environ la température de 204 m. c. d'air, il a fallu employer 143 kilogr. de glace par heure, il faudrait donc pour refroidir 7 500 m. c. un poids de glace égal à $\frac{7\,500}{204}\times 143=6\,257$ kilogr. par heure.

La chaleur latente de fusion de la glace étant 79 calories et, dans les expériences du général Morin, l'eau se trouvant portée à la température de 6°, chaque kilogramme de glace absorbait 85 calories; le rendement obtenu a donc été inférieur à 0,03. Un procédé aussi défectueux est absolument impraticable.

PRODUCTION DU FROID ET DE LA GLACE.

1143. Tous les moyens que nous venons d'indiquer ne permettent d'obtenir qu'un refroidissement de quelques degrés au-dessous de la température de l'air ambiant ou de l'eau naturelle dont on dispose.

Quand on veut abaisser la température au-dessous de 0° et produire de la glace, il faut recourir à des moyens plus énergiques. La production d'un froid intense a été utilisée pour diverses opérations industrielles telles que la fabrication de la glace comme objet de consommation pendant l'été, le refroidissement des caves de fermentation des brasseries, la concentration de quelques dissolutions salines, le fonçage des puits dans certains terrains aquifères et la conservation de la viande, du lait et des poissons, etc. Un appareil frigorifique a été installé par

MM. Mignon et Rouart frères pour la congélation des cadavres à la Morgue de Paris, où il fonctionne sans interruption depuis 1880. Nous reviendrons plus loin sur quelques-unes de ces applications.

Pour fondre 1 kilogramme de glace à 0° C., il faut lui fournir en nombre rond 80 calories. Inversement, pour produire 1 kilogramme de glace avec de l'eau à 0°, il faut absorber 80 calories ou, autrement dit, fournir au liquide 80 calories négatives. Thomas a proposé d'appeler *frigories* les calories négatives. Lorsqu'on opère sur de l'eau à + 10°, il faut, pour obtenir de la glace à — 10°, absorber 100 calories. Ce nombre représente la quantité de chaleur qu'il est nécessaire d'enlever indépendamment de toutes les causes qui peuvent agir pour restituer de la chaleur au corps qu'on veut refroidir.

Lorsqu'il ne s'agit de produire du froid que pour des besoins domestiques ou de laboratoire, un moyen très simple consiste à utiliser l'absorption de chaleur résultant de la dissolution de certains sels.

1144. Dissolution des sels. — Les combinaisons chimiques produisent un dégagement de chaleur, mais la dissolution d'un corps solide dans un liquide donne lieu à un abaissement de température qui peut être considérable, à la condition toutefois que le phénomène de la dissolution ne soit accompagné d'aucune réaction chimique. Le refroidissement obtenu résulte de l'absorption par le corps solide de la chaleur latente qui lui est nécessaire pour passer de l'état solide à l'état liquide. C'est ainsi que certains sels ou certains mélanges de sels ont, en se dissolvant, la propriété de produire un abaissement notable de température. Ces mélanges prennent le nom de *mélanges frigorifiques* ou de *mélanges réfrigérants*.

La dissolution de 1 kilogr. d'azotate d'ammoniaque dans 1 kilogr. d'eau, fournit un abaissement de température de 26°. Si le degré initial est + 10°, la température pourra descendre à — 16° et il sera possible de produire de la glace. Le poids des matières mis en présence est 2 kilogr., la capacité calorifique

de l'azotate étant 0,40, celle du mélange sera $\frac{1+0,40}{2}=0,70$. Le nombre de calories absorbées par la dissolution est donc

$$26 \times 0,70 \times 2 = 36,4.$$

Pour reconstituer l'azotate d'ammoniaque afin de produire de nouveau du froid, il faudra évaporer l'eau qui a servi à la dissolution du sel. Or, pour évaporer 1 kilogr. d'eau, il faut dépenser 550 à 600 unités de chaleur positives; on voit donc que, par ce procédé, la production du froid coûte très cher, puisque pour obtenir 36,4 frigories, il faut dépenser près de 600 calories pour ramener le sel à son état initial, si l'on évapore à simple effet. Pratiquement, il faut compter sur une dépense double au moins; la production des 36,4 frigories pourra exiger une dépense de 1 200 calories, c'est-à-dire une quantité de chaleur 33 fois plus grande que celle qui correspond aux calories négatives obtenues. En évaporant à double ou à triple effet, la dépense se trouverait respectivement réduite à moitié ou au tiers.

Quand, au lieu d'eau, on emploie de la glace pilée ou de la neige, l'abaissement de température réalisé pourra être plus considérable. Cela tient à ce que la dissolution exige pour s'effectuer non plus seulement la fusion du sel, mais encore celle de la glace elle-même. Comme il faut obtenir à la fois le changement d'état des deux corps en présence, la chaleur absorbée est plus grande et le froid plus intense.

L'abaissement de température est limité à la température de congélation de la dissolution saline. Dès que cette limite est atteinte, la température reste stationnaire jusqu'à ce que la fusion complète du sel soit opérée. S'il en était autrement, l'eau et le sel repassant à l'état solide abandonneraient leur chaleur latente de fusion et la température du mélange se relèverait jusqu'au point de congélation. Il en résulte que pour obtenir l'abaissement le plus grand possible, il faut combiner les proportions du mélange de telle sorte que la dissolution résultante se trouve saturée. De plus, le sel et la glace doivent être pilés très fin et mélangés bien intimement.

La glace pilée ou la neige employée doit être bien sèche, sinon, l'eau liquide qu'elle renfermerait n'absorbant pas de chaleur pour se liquéfier, la température obtenue serait moins basse.

En plaçant le vase qui contient un mélange réfrigérant dans un second vase où se trouve déjà un autre mélange frigorifique, on peut obtenir des abaissements de température considérables. Dans ces conditions, avec un mélange de glace pilée et de chlorure de ealcium, on peut arriver à obtenir des températures de — 50° C.

1145. — Nous rappelons dans le tableau suivant la composition de quelques mélanges réfrigérants usuels et faciles à préparer :

Mélanges frigorifiques.

POIDS DES SUBSTANCES MISES EN PRÉSENCE.				ABAISSEMENT DE TEMPÉRATURE.
Eau	1	Azotate d'ammoniaque	1	+ 10° à — 16°
Neige	1	Sel marin	1	0° — 17°,77
Neige	1	Ac. sulfurique étendu.	1	— 6°,6 — 51°
Sulfate de soude	1	Acide azotique étendu.	2	+ 10° — 19°
Phosphate de soude	9	Acide azotique étendu.	4	+ 10° — 29°
Sulfate de soude	20	Acide sulfurique à 36°.	16	+ 10° — 8°,15
Sulfate de soude	8	Acide chlorhydrique	5	+ 10° — 17°

La production du froid par des mélanges réfrigérants n'étant pas économique, on a été conduit à rechercher d'autres moyens.

La plupart des procédés employés pour produire la glace sont basés sur la vaporisation d'un liquide ou la dilatation d'un gaz.

1146. Vaporisation d'un liquide dans le vide. — On peut arriver à des abaissements de température assez considérables en évaporant dans le vide un liquide volatil, de l'eau par exemple, en présence d'un corps avide d'humidité tel que la chaux vive, l'acide sulfurique concentré, le chlorure de calcium, etc.

Expérience de Leslie. — On place sous le récipient d'une machine pneumatique deux capsules, contenant l'une de l'eau,

l'autre de l'acide sulfurique concentré. Lorsqu'on fait le vide, l'eau émet d'abondantes vapeurs qui sont immédiatement absorbées par l'acide. La chaleur nécessaire à la vaporisation étant empruntée à l'eau elle-même, la température de ce liquide s'abaisse et, au bout de quelque temps, la congélation peut se produire. Mais le corps absorbant s'échauffe presque aussi vite que le liquide se refroidit et si les deux corps sont dans la même enceinte bientôt la chaleur rayonnée transmise au liquide vient limiter l'effet de l'évaporation.

On peut reculer beaucoup cette limite en mettant le corps à refroidir et le corps absorbant dans des capacités séparées ; on arrive ainsi à supprimer l'effet nuisible du rayonnement.

1147. — **M. Carré** construit sur ce principe un appareil très simple qui comprend deux éléments principaux : une pompe pneumatique et un réservoir cylindrique horizontal en partie rempli d'acide sulfurique ; ce récipient est en plomb antimonié que l'acide n'attaque pas ; il est muni à sa partie supérieure d'un tube vertical terminé par un robinet pourvu d'un raccord spécial qui peut s'adapter dans le goulot d'une carafe ou de tout autre vase renfermant de l'eau destinée à être transformée en glace. A l'aide de la pompe pneumatique on fait le vide au-dessus du liquide ; il se produit une vive évaporation dans la carafe, et, comme l'acide sulfurique absorbe constamment les vapeurs qui se dégagent, l'ébullition continue, l'eau se refroidit et ne tarde pas à se congeler.

Quand, après un certain temps d'usage, l'acide sulfurique se trouve trop étendu, il devient nécessaire de le remplacer par une nouvelle charge d'acide concentré.

Au lieu d'évaporer de l'eau, on peut volatiliser de l'ammoniaque dont on absorbe les vapeurs par du coke imprégné d'eau ou d'acide sulfurique. En opérant dans le vide, sous le récipient d'une machine pneumatique, l'évaporation est si active qu'il est possible d'obtenir un abaissement de température de 89° permettant de solidifier l'acide carbonique. Une pâte formée d'un mélange d'acide carbonique solide et d'éther permet d'abaisser la température jusqu'à — 100°.

1148. Vaporisation d'un gaz liquéfié et refroidi. — On peut encore produire du froid au moyen d'un autre appareil dont le principe est basé sur l'expérience suivante due à *Faraday*.

On place du chlorure d'argent saturé d'ammoniaque dans l'une des branches d'un tube en U dont les extrémités sont ensuite hermétiquement bouchées. On chauffe cette branche et on refroidit la seconde. Sous l'action de la chaleur, l'ammoniaque abandonne le chlorure d'argent, et, sous l'influence de la pression qui se développe, il se condense dans la branche refroidie un liquide qui n'est autre que du gaz ammoniac liquéfié. On refroidit alors la branche primitivement chauffée, l'ammoniaque liquide émet des vapeurs qui sont absorbées par le chlorure d'argent, et il se produit un abaissement de température considérable dans la branche où l'ammoniaque se vaporise.

En partant de cette expérience, **M. Carré** a combiné l'appareil suivant (fig. 647), formé de deux vases, chaudière et congéla-

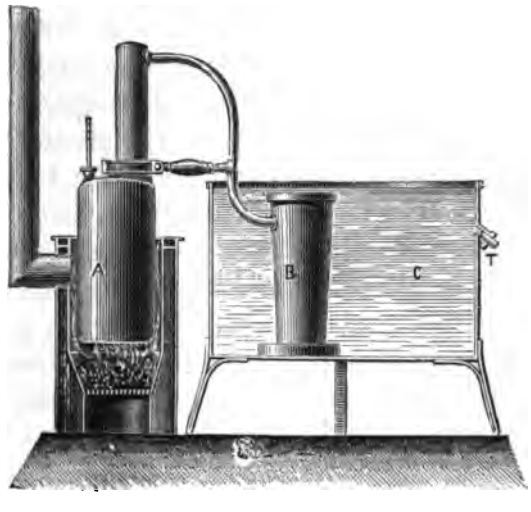


Fig. 647.

teur, réunis par un tuyau. On commence par chauffer la chaudière A, qui renferme une dissolution aqueuse concentrée d'ammoniaque; le congélateur B est maintenu dans l'eau froide; il est pourvu à sa partie centrale d'une chambre cylindrique verticale,

ouverte à l'air libre, qui reçoit un liquide incongelable dans lequel on plonge le corps à refroidir. La dissolution chauffée laisse dégager des vapeurs qui viennent se liquéfier dans le vase B refroidi. La tension et la température s'élèvent peu à peu; lorsque cette dernière est comprise entre 130° et 160°, on enlève le fourneau, et on retourne l'appareil qu'on dispose de façon que le vase A plonge dans le baquet plein d'eau, tandis que le vase B reste en dehors du liquide. On entoure ce vase B d'un feutre destiné à empêcher le réchauffement par l'air ambiant, et on place dans sa cavité centrale le corps à refroidir.

Par suite du refroidissement de la chaudière A la pression baisse dans l'appareil. La solution contenue dans le congélateur B abandonne des vapeurs ammoniacales qui se redissolvent dans l'eau de la chaudière. Cette vaporisation de l'ammoniaque produit un abaissement de température qui permet de congeler l'eau placée dans la chambre de refroidissement. Au ciel de la chaudière A se trouve fixé un tube pendant, fermé par le bas, ouvert à sa partie supérieure et qui renferme de l'huile dans laquelle plonge un thermomètre permettant de constater qu'on a atteint ou dépassé légèrement la température de 130°.

1149. Appareils continus. — Les procédés que nous venons d'indiquer sont surtout employés dans les laboratoires et la petite industrie. Ils sont appliqués également à la fabrication de la glace pour les usages domestiques, mais ils sont insuffisants lorsqu'il s'agit d'opérations industrielles importantes ou continues. Dans ce cas on fait intervenir une action mécanique, qui permet de comprimer ou de liquéfier un fluide, puis de le détendre ou de l'évaporer après qu'il a été ramené à la température ambiante.

Les machines frigorifiques employées dans l'industrie peuvent se grouper ainsi :

1° Machines à détente de gaz comprimé;

2° Machines à évaporation de liquide et à compression des vapeurs dégagées (machines à compression);

3° Machines à évaporation de liquide et à dissolution des vapeurs produites (machines à affinité).

MACHINES A DÉTENTE DE GAZ COMPRIMÉ.

1150. Dans ces machines frigorifiques, on utilise la détente adiabatique d'une masse gazeuse pour produire un abaissement de température. On commence par comprimer la masse gazeuse à température constante pour que, l'évolution s'effectuant suivant une ligne isotherme, la dépense de travail moteur soit la plus réduite possible ; puis, afin d'obtenir le refroidissement le plus grand possible, on laisse le gaz se dilater à chaleur constante, c'est-à-dire suivant une courbe adiabatique, et on lui fait effectuer un travail qui peut venir en déduction du travail moteur à dépenser pour la compression ; enfin on laisse le gaz se réchauffer en lui faisant emprunter de la chaleur au corps qu'on refroidit.

On peut, dans ces machines, utiliser tout gaz éloigné de son point de liquéfaction, pourvu que le fluide choisi n'attaque pas les appareils dans lesquels il circule. Le gaz à préférer est l'air atmosphérique, qui n'altère pas les métaux usuels, ne coûte rien ni comme achat, ni comme préparation, et qu'on trouve partout en quantité illimitée.

Les appareils frigorifiques de cette catégorie sont à cycle ouvert ou à cycle fermé. Dans le premier cas, on se sert toujours de la même masse de fluide qu'on reprend après la détente et qu'on ramène à son état initial en lui faisant subir une nouvelle compression. Lorsqu'on opère à cycle ouvert, la machine comprime toujours du fluide neuf et l'abandonne ensuite dans l'atmosphère après qu'il s'est détendu. Seul, l'air atmosphérique permet pratiquement de travailler ainsi. La marche à cycle ouvert donne lieu à une perte de froid due à ce que l'air détendu s'échappe à très basse température ; afin d'atténuer le plus possible cette perte, on fait passer cet air froid dans un récupérateur à surface, où il se réchauffe en refroidissant l'air comprimé qui va se détendre. Les machines à cycle ouvert sont utilisées de préférence, lorsqu'on a en vue la production directe de l'air à très basse température.

La comparaison entre une machine frigorifique et une machine thermique, montre que dans cette dernière on fournit de la

chaleur à une masse gazeuse pour lui faire produire un travail, tandis que dans la machine frigorifique on dépense d'abord du travail pour permettre ensuite au gaz d'absorber de la chaleur. La machine à froid fonctionne donc à l'inverse de la machine thermique. Celle-ci, pour produire un certain travail, exige d'autant moins de calories que sa détente est plus étendue; inversement, dans une machine où l'on transforme du travail en chaleur, le fonctionnement sera d'autant plus économique que la détente sera plus réduite. Le rendement des machines frigorifiques sera donc d'autant meilleur qu'on fera usage de détentes moins prolongées.

Toutefois la détente ne doit pas être trop petite, car il ne se produirait alors que peu de refroidissement. De plus, si la détente avait une valeur trop faible, on serait entraîné à construire des machines encombrantes, d'un prix d'achat élevé et donnant lieu à des résistances passives importantes. Ces inconvénients compenseraient et au delà l'avantage résultant de la supériorité de rendement; aussi, en pratique, limite-t-on assez généralement la compression de 2 à 5 atmosphères. Les considérations qui précèdent expliquent et justifient en partie cette limite.

Les machines frigorifiques à air sont en général employées dans les pays chauds et à bord des navires. Cette préférence paraît tenir surtout à ce qu'avec ces appareils on n'a pas à se préoccuper de l'approvisionnement d'un composé chimique qui peut faire défaut au moment où on en a le plus besoin.

1151. Machine frigorifique à air. — Cette machine représentée (fig. 648) d'après les indications de M. Josse, comprend les organes suivants :

Un compresseur P;

Un réfrigérant R;

Un appareil de détente E;

Un congélateur ou frigorifère.

Le compresseur est formé d'une pompe de compression P actionnée par une machine à vapeur A et servant à comprimer à une pression de plusieurs atmosphères l'air dont on utilisera ensuite la détente.

La pompe de compression peut être à double ou à simple effet. Elle est généralement à double effet sur les navires, où l'on a besoin de réduire le plus possible l'espace occupé par la machine.

La compression ayant pour effet d'élever la température de

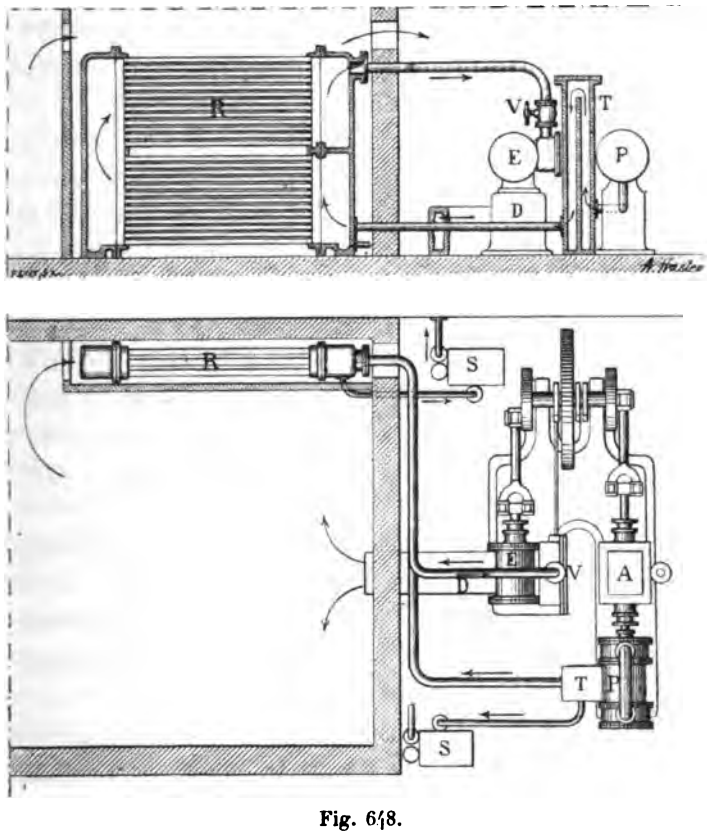


Fig. 648.

l'air, on refroidit ce fluide d'abord pendant la compression, et ensuite en le faisant passer dans un réfrigérant, soit à eau, soit à air, où il abandonne l'excès de chaleur qu'il a pu conserver et où il se trouve ramené à sa température initiale. On ne change pas le volume de l'air comprimé, mais sa pression se trouve un peu diminuée. Afin de réduire le plus possible l'élévation de température résultant de la compression, et par suite

le travail à dépenser pour cette opération, on peut même introduire un peu d'eau dans la pompe de compression. D'après M. Richard, cette quantité doit être d'un centième environ de la capacité utile du corps de pompe. L'air sortant du compresseur parcourt en montant, puis en descendant, les deux compartiments d'une tourelle T au sommet de laquelle on injecte encore de l'eau. L'air comprimé passe ensuite dans le réfrigérant à eau ou à air et se trouve ramené, ou à peu près, à la température qu'il possédait avant d'être soumis à la compression.

En même temps, une partie de la vapeur d'eau que l'air a absorbée se condense et est extraite par un purgeur spécial S.

L'air comprimé et refroidi se rend dans un cylindre détendeur E, où il peut se dilater en agissant sur un piston relié à l'arbre moteur de la machine. On récupère ainsi une partie du travail moteur dépensé pour la compression.

L'air dilaté sortant du détendeur est à une température très basse, il se rend au frigorifère ou congélateur, qu'il parcourt dans toute sa longueur. Pendant son passage, cet air tend à se réchauffer en empruntant de la chaleur aux corps qui l'entourent.

Lorsqu'on a en vue le refroidissement d'une enceinte quelconque dont il est nécessaire d'opérer la ventilation, on introduit dans cette enceinte de l'air dilaté froid destiné à remplacer l'air en partie réchauffé qu'on évacue dans l'atmosphère. Cet air expulsé est encore à une basse température, et, pour diminuer la perte de calories négatives résultant de son évacuation, on l'envoie, au sortir du frigorifère, dans le réfrigérant R, où il circule au contact du faisceau tubulaire. Il se réchauffe en empruntant de la chaleur à l'air comprimé qui vient du compresseur et qui passe dans les tubes du réfrigérant.

L'échange de chaleur qui s'effectue dans R permet d'abaisser la température de l'air comprimé, d'utiliser des frigories qui, sans cela, seraient complètement perdues, et de réaliser par suite une économie de force motrice.

1152. Lorsqu'on veut abaisser la température normalement obtenue dans le frigorifère, il devient nécessaire de

refroidir davantage l'air comprimé qui traverse le réfrigérant.

Pour cela, on ne fait passer qu'une partie de l'air froid du détendeur dans le frigorifère, et le reste se rend directement dans le réfrigérant, où il se mélange à l'air qui revient du frigorifère. On peut faire varier à volonté les proportions de ce mélange et refroidir au degré convenable l'air comprimé avant sa détente. On obtient dans le frigorifère une température d'autant plus basse que l'air comprimé a été plus refroidi avant sa détente.

Le refroidissement de l'air comprimé passant dans le réfrigérant peut encore être obtenu de la manière suivante : On fait circuler un courant d'eau froide autour des parois du réfrigérant, et on envoie ensuite l'air comprimé dans un accumulateur composé de deux caisses adjacentes remplies de toiles métalliques ou de corps solides. La première caisse est parcourue par l'air comprimé à refroidir, la seconde par l'air froid ou inversement, à volonté.

Lorsque la marche normale est établie, l'air comprimé sortant du réfrigérant à eau passe dans la première caisse qui a été préalablement refroidie, et abandonne une nouvelle partie de sa chaleur aux matières solides froides qu'il rencontre.

L'air détendu à basse température sortant du congélateur à $-10°$, par exemple, traverse la seconde caisse et se réchauffe en empruntant de la chaleur aux corps solides qu'elle renferme. Lorsque cette seconde caisse est suffisamment refroidie, on change le sens du passage de l'air, on envoie l'air froid dans la première caisse et l'air à refroidir dans la seconde. Cette manœuvre s'effectue chaque fois que les températures de l'air comprimé observées à l'entrée et à la sortie de la caisse diffèrent peu l'une de l'autre. A la sortie de l'accumulateur, l'air détendu est généralement encore à une température inférieure à celle de l'air ambiant, on peut le reprendre pour le comprimer de nouveau ; on opère alors à cycle fermé, et on obtient dans le compresseur une température moins élevée qu'en marchant à cycle ouvert.

1153. Lorsque la machine frigorifique est destinée à produire de la glace, on conserve ses différents organes, mais le frigorifère est remplacé par un congélateur formé d'un serpen-

tin ou d'un appareil tubulaire plongé dans une bâche remplie d'un liquide incongelable qui, le plus communément, est une dissolution concentrée de chlorure de calcium. On peut également composer un bain incongelable avec du chlorure de magnésium, de la glycérine ou de l'alcool, etc.

L'air détendu et froid circulant dans les tubes du congélateur emprunte de la chaleur à la solution incongelable dont la température peut être abaissée à $-15°$ et même à $-20°$.

L'eau à congeler est versée dans des vases ou mouleaux qu'on plonge dans la solution réfrigérante. Afin de rendre la température du bain aussi uniforme que possible, et, en même temps, pour augmenter l'effet utile de l'appareil frigorifique, le liquide incongelable circule constamment des serpentins congélateurs aux mouleaux et *vice versa*. Le mouvement est obtenu à l'aide d'une hélice immergée, actionnée par le moteur du compresseur.

1154. Calcul du refroidissement que peut théoriquement produire la détente d'un kilogramme d'air comprimé. — Les lois de Mariotte et de Gay-Lussac établissent la relation qui existe entre le poids, le volume et la température d'un gaz parfait, c'est-à-dire d'un gaz qui se trouve suffisamment éloigné de son point de liquéfaction.

Au lieu de considérer les températures données par le thermomètre centigrade et comptées à partir de la glace fondante, nous considérerons les températures absolues.

La température absolue $T = t + 273°$, t étant le degré de température fourni par le thermomètre centigrade et $273° = \frac{1}{0,00366}$ représentant le degré de température de la glace fondante compté à partir du zéro absolu.

En appelant

p_0, v_0, T_0 la pression absolue, le volume et la température absolue du gaz à l'état initial,

p, v, T les mêmes éléments à l'état final,

on a l'égalité (**573**)

$$\frac{pv}{T} = \frac{p_0 v_0}{T_0}. \qquad (1)$$

D'un autre côté, on a vu (587) que lorsqu'un gaz parfait se comprime où se dilate à chaleur constante, c'est-à-dire sans gain ni perte de chaleur sous l'action des causes extérieures, l'évolution se fait suivant une courbe dite adiabatique et on a :

$$pv^k = \text{constante}. \qquad (2)$$

k étant le rapport des chaleurs spécifiques à pression constante et à volume constant. D'après les déterminations les plus autorisées, $k = 1,41$.

En combinant les équations (1) et (2), afin d'obtenir une relation entre la pression et la température, on trouve :

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}. \qquad (3)$$

Cette dernière relation permet de calculer les températures correspondant aux différentes pressions.

Appliquons ces formules aux diverses phases d'une opération : 1° On comprime de 1 à 3 atmosphères un gaz pris à la température ambiante, soit 17° C. par exemple. Il s'échauffe et, si on suppose qu'il n'y ait de chaleur cédée ni au cylindre ni à l'extérieur, la température après la compression sera :

$$\frac{T}{273+17} = \frac{T}{290} = \left(\frac{3}{1}\right)^{\frac{0,41}{1,41}}$$

d'où

$$T = 401 \text{ et } t = T - 273 = 128°.$$

2° On refroidit cet air par de l'eau et on ramène sa température à 17°, par exemple. Si on fait en sorte que le volume ne change pas

$$\frac{3^{at} \times v}{401} = \frac{pv}{273+17}$$

d'où

$$p = 2^{atm},17.$$

3° Enfin on fait dilater cet air de manière à faire tomber sa

pression à 1 atmosphère sans rien céder ni prendre aux corps extérieurs

$$\frac{T}{290}=\left(\frac{1}{2,17}\right)^{\frac{0,41}{1,41}}$$

d'où

$$T=230,7 \text{ et } t_1=-42,3.$$

On trouve donc que, si on comprime jusqu'à 3 atmosphères de l'air à 17°, la température s'élève à 128°. En le refroidissant à 17° sans changer son volume, la pression descend à $2^{at},17$ et en le laissant se détendre jusqu'à la pression atmosphérique la température s'abaisse de 59°,3 et tombe à — 42°,3.

Si l'air était pris à — 10° la compression à 3 atmosphères élèverait sa température à 101°. Le refroidissement à — 10° abaisserait la pression à $2^{at},17$ et la détente consécutive à 1 atmosphère ferait descendre la température à — 63°,8.

Dans la pratique, on refroidit l'air pendant la compression, afin de diminuer le travail dépensé par le moteur. La pression de l'air comprimé reste le plus souvent limitée à $2^{atm},5$. On peut aller au delà et on le fait dans certains cas, lorsqu'on veut obtenir un abaissement de température plus considérable; mais ce résultat ne s'obtient qu'au prix d'une diminution de rendement.

Dans une machine à cycle fermé, la quantité minima de travail à dépenser pour produire une frigorie est donnée par la relation tirée de la théorie mécanique de la chaleur (**593**)

$$\mathfrak{T}=E\times\frac{T_0-T_1}{T_1}\times Q_1=E\times\frac{t_0-t_1}{273+t_1}\times 1.$$

$\mathfrak{T}$ nombre de kilogrammètres à dépenser;

$E=424$, équivalent mécanique de la chaleur;

T_0 et T_1 températures absolues dans le compresseur et le frigorifère;

t_0 température en degrés centigrades atteinte dans le compresseur;

t_1 température en degrés centigrades atteinte dans le frigorifère;

$273 = \frac{1}{0,00366}$, température absolue du 0° du thermomètre centigrade.

Admettons que la température de l'air ne s'élève pas dans le compresseur au-dessus de 25° et que, dans le frigorifère, elle ne descende pas au-dessous de — 15°, le travail théoriquement dépensé pour obtenir une frigorie, sera

$$\mathfrak{T} = 424 \times \frac{25-(-15)}{273+(-15)} \times 1 = \frac{424 \times 40}{258} = 65,7.$$

En pratique, ce nombre se trouve toujours largement dépassé, même lorsqu'on comprime aux faibles pressions en usage.

D'après M. Richard, on peut dire qu'en opérant avec une pression de 4 atmosphères, on ne doit guère espérer atteindre un rendement supérieur à 1000 frigories par cheval-heure dépensé au compresseur, ni plus de à 25 frigories par mètre cube d'air traversant la machine.

1155. Nous venons de voir, dans le calcul précédent, qu'en aspirant avec la pompe de l'air extérieur à 17° la température dans le frigorifère pouvait descendre à — 42°. Si on abandonnait l'air froid à — 10° dans l'atmosphère, on n'utiliserait en degrés que la différence 42 — 10 = 32°; le reste serait perdu. Si, au contraire, on aspire cet air à — 10° pour le comprimer, l'abaissement de température sera d'environ 63,8 au-dessous de 0 et on utilisera 63°,8 — 10° = 53°,8.

Il résulte de là que chaque mètre cube d'air, entrant dans le congélateur à — 63°,8 et sortant à — 10°, absorbe en calories par mètre cube d'air mesuré à 0°

$$1,29 \times 0,2378(63,8 - 10) = 16^{cal},20.$$

Supposons que le cylindre soufflant comprime 100 litres par seconde, soit 360 mètres cubes par heure, la chaleur absorbée

$$16,20 \times 360 = 5\,832^{cal}.$$

permettra de fabriquer 58 kilogr. de glace environ, car ainsi qu'il a été dit précédemment, il faut absorber environ 100 calo-

ries par kilogramme de glace produit. Pour comprimer ce volume d'air de 1 à 3 atmosphères, il faut théoriquement 15 chevaux environ et, en pratique, 30 chevaux consommant environ $30 \times 1,25 = 37,5$ kilogr. de charbon qui coûtent $37,5 \times 0,27 = 1^{fr},01$. Le prix du kilogramme de glace revient donc à $\frac{1,01}{58} = 0^{fr},018$. En ajoutant à ce chiffre les frais accessoires, on arrive à un prix encore plus élevé.

Ajoutons qu'il y a des difficultés pratiques considérables. Ainsi, l'air renfermant toujours de la vapeur d'eau, il se produit, à l'intérieur des vases ou des serpentins, des couches de givre qui arrêtent la transmission du froid. L'humidité de l'air est très accrue, lorsqu'on le refroidit par une injection d'eau froide, afin de diminuer le travail de la compression; aussi, une des principales préoccupations des constructeurs a-t-elle été de se débarrasser de la vapeur d'eau que l'air comprimé renferme. On y arrive à l'aide des boîtes à neige ou *snow-boxes*, qui consistent essentiellement en une ou plusieurs capacités faisant suite au détendeur et dans lesquelles l'air détendu et froid dépose sur des surfaces rugueuses, pourvues de pointes et disposées en chicanes, la neige qui se forme pendant la détente.

Les appareils à air froid sont surtout employés à bord des navires destinés au transport des viandes ou du poisson. Dans ce cas, on envoie directement au dehors l'air détendu dans les chambres de conservation, et on opère constamment sur des quantités d'air nouvelles; mais, dans le but de diminuer la perte de froid, on se sert, comme nous l'avons dit, de l'air détendu qui s'échappe du frigorifère à basse température pour refroidir l'air comprimé qui s'est échauffé dans le compresseur.

Plusieurs machines à air fonctionnaient à l'Exposition Universelle de 1889, mais à part quelques dispositions de détails sur lesquelles nous ne saurions insister, leurs organes essentiels étaient analogues à ceux de l'appareil que nous venons de décrire.

MACHINES A ÉVAPORATION DE LIQUIDE ET A COMPRESSION DES VAPEURS DÉGAGÉES.

1156. Nous avons vu que, dans les appareils frigorifiques à air, la production du froid est due au travail de la détente du gaz préalablement comprimé. Ce travail est fonction de la chaleur spécifique du fluide employé, laquelle a toujours une faible valeur, aussi bien pour l'air que pour les autres gaz, ce qui, dans les opérations industrielles, a pour conséquence d'obliger à traiter de grandes masses gazeuses et d'exiger des appareils volumineux.

Les appareils que nous allons examiner utilisent la vaporisation d'un liquide placé dans un récipient hermétiquement clos, appelé *frigorifère* ou *congélateur* et installé dans l'enceinte qu'on veut refroidir ou dans un bain incongelable. La partie supérieure du récipient communique avec une pompe de compression. Lorsque celle-ci est mise en activité, elle aspire les vapeurs qui se forment dans le frigorifère et les refoule, à une pression variable avec les corps employés, dans un second récipient, dit *condenseur* ou *réfrigérant*, semblable au frigorifère et immergé dans un courant d'eau fraîche.

La pompe refoulant à chaque coup de piston des vapeurs comprimées, la pression s'élève progressivement dans le condenseur. La limite de cette pression, c'est la tension maxima de la vapeur correspondant à la température de l'eau courante. Dès que cette limite est atteinte, les vapeurs affluentes se liquéfient à mesure qu'elles arrivent dans le condenseur et l'eau emporte, outre la chaleur abandonnée par le refroidissement du fluide comprimé, la chaleur latente de vaporisation dégagée par les vapeurs qui repassent à l'état liquide. A chaque coup de piston, on reconstitue dans le condenseur une quantité de liquide égale à celle qui disparaît du frigorifère. La pression est toujours plus élevée dans le condenseur que dans le frigorifère, puisque la température est plus basse dans le dernier de ces deux récipients. On profite de cette différence de pression pour faire rentrer dans le frigorifère une quantité de liquide correspon-

dant à celle qui s'évapore et dont les vapeurs sont enlevées par le jeu de la pompe. On règle la rentrée du liquide au moyen d'un robinet qu'on ouvre plus ou moins, suivant la marche de l'opération. Grâce à ces dispositions, le fonctionnement de la machine est continu et l'on peut produire du froid ou de la glace d'une manière régulière.

En résumé, l'appareil est basé sur le passage continu de l'état liquide à l'état gazeux d'un fluide facilement vaporisable. Ce changement d'état produit le froid. Une pompe permet de reconstituer dans le condenseur à une température déterminée le liquide qui repasse ensuite dans le frigorifère pour se vaporiser de nouveau, etc. La quantité de froid produite est proportionnelle au poids du liquide évaporé et, par suite, à la puissance de la pompe.

Ces appareils frigorifiques comportent donc les mêmes organes que les machines à air, sauf le cylindre de détente qui se trouve remplacé par un simple *robinet-régleur* qu'on ouvre plus ou moins suivant la marche de l'opération. Cette modification provient de ce que, dans les machines à gaz liquéfié, on néglige la chaleur absorbée par la détente des vapeurs pour n'utiliser que la chaleur latente de vaporisation, qui est beaucoup plus importante et qui pour les divers liquides employés reste comprise entre 90 calories pour l'éther et 259 calories pour l'ammoniaque.

Le fonctionnement a lieu dans les machines à liquéfaction comme dans les machines à air, avec cette différence toutefois que les vapeurs comprimées se liquéfient dans le condenseur, puis se vaporisent dans le frigorifère en empruntant leur chaleur latente de vaporisation au corps à refroidir.

1157. Le choix du corps qu'il convient d'employer dans les machines frigorifiques à liquéfaction dépend de diverses causes, telles que son prix d'achat, sa facilité de manipulation, son action sur les métaux servant à la construction des organes des machines, etc. On doit également tenir compte de la possibilité de réduire les dimensions des machines ou d'abaisser la température de vaporisation. Les corps le plus souvent employés sont :

les éthers, l'ammoniaque, l'acide sulfureux, l'acide carbonique, le chlorure de méthyle, etc.

L'éther ordinaire se vaporise à 35° sous la pression ordinaire de l'atmosphère et sa chaleur latente est de 90 calories. Ce corps n'exige pas de grandes pressions pour sa liquéfaction et c'est le motif qui l'avait fait employer dans les premières machines à glace; mais, en cas de fuites, il présente des inconvénients graves : (grande inflammabilité et dangers résultant de son inhalation).

L'éther méthylique bout à — 30° et, à 0°, sa tension est de 2,5 atmosphères. Il est inflammable et sa grande volatilité nécessite des dispositions spéciales pour son emploi.

Aujourd'hui, les machines à éther sont presque complètement abandonnées. Nous ne les avons mentionnées que parce que la machine à éther est le premier appareil frigorifique à liquéfaction qu'on ait employé.

L'ammoniaque est un corps que l'on prépare facilement et qui, pour se liquéfier aux températures ordinaires, n'exige pas des pressions considérables. (Une pression de douze atmosphères suffit à la température de + 30° C). Sa chaleur latente de vaporisation est 259. Mais, en présence d'une proportion d'air très faible et qu'il est toujours difficile d'éviter dans les appareils, ce gaz attaque le cuivre. On remédie à cet inconvénient en proscrivant l'emploi du cuivre dans les appareils à ammoniaque.

L'acide sulfureux anhydre se liquéfie assez facilement; il exige pour cela une pression de 4,5 atmosphères à la température de 30°. Son point d'ébullition est — 10° C. sous la pression atmosphérique normale; sa chaleur latente est 97. Ce gaz présente l'avantage d'être lubrifiant, ce qui dispense de graisser le piston de la pompe de compression. Mais, s'il vient à se trouver en présence de l'eau, il donne naissance à de l'acide sulfurique qui attaque les divers organes des appareils. L'odeur de l'acide sulfureux est insupportable et les fuites, lorsqu'il s'e produit, sont très gênantes pour le personnel de service.

L'acide carbonique est le plus énergique des gaz réfrigérants employés dans l'industrie. Il bout à — 32° sous la pression atmosphérique; à 0° sa pression de liquéfaction est de 40 atmo-

sphères et au delà de 30°, la pression de l'acide carbonique augmente très rapidement avec la température. Afin de ne pas dépasser 30° il faut, pendant la compression, refroidir énergiquement le gaz comprimé au moyen d'une circulation d'eau très active.

L'acide carbonique n'attaque pas sensiblement les métaux servant à la fabrication des machines frigorifiques, mais en raison des hautes pressions qu'il exige, il faut donner des épaisseurs considérables aux parois des appareils qui le renferment. De plus, les joints sont difficilement étanches et aucune odeur ne vient déceler les fuites de gaz.

Le *chlorure de méthyle* entre en ébullition à la température de — 23° sous la pression atmosphérique ; la pression de liquéfaction est de 2,50 kilogr. à 0° et 4,8 kilogr. à 20°. Ce corps est comparable à l'acide sulfureux dont il ne présente pas les propriétés toxiques. Les appareils dans lesquels on utilise le chlorure de méthyle sont peu volumineux, mais le prix de revient de ce produit a été longtemps un obstacle à son emploi et il est seulement entré dans la pratique depuis que M. Vincent a trouvé le moyen de le préparer économiquement. Ce corps étant inflammable, tous les joints des appareils doivent être bien étanches. Nous verrons plus loin les dispositions spéciales appliquées aux compresseurs, afin d'avoir toute garantie contre les chances de fuites par les presse-étoupe.

1158. Machines à deux liquides. — On a essayé de produire du froid en utilisant la vaporisation de liquides mélangés, composés des principaux corps que nous venons d'indiquer. MM. Tessié du Motay et Rossi ont essayé des mélanges d'éther et d'acide sulfureux ou d'ammoniaque, M. Pictet se sert d'acide sulfureux et d'acide carbonique; M. Quiri a proposé l'emploi de divers hydrocarbures et d'acide sulfureux ou de sulfure de carbone.

On cherche à former ainsi des liquides spéciaux qui jouissent de la propriété de se dissocier à basse température et de se recombiner aux températures ordinaires sous l'influence d'une pression modérée. La liquéfaction pourrait s'opérer ainsi sous des pressions plus faibles que celles que nécessite le corps le moins liquéfiable.

Dans le réfrigérant, la tension des vapeurs est au contraire plus élevée que si l'on opérait sur le corps le plus liquéfiable, il en résulterait, en définitive, une économie de travail et une augmentation de rendement de la machine.

M. de Naeyer avait exposé en 1889 une machine frigorifique Pictet, fonctionnant avec un mélange d'acide sulfureux et d'acide carbonique. Les organes de cette machine ne diffèrent pas de ceux des machines à acide sulfureux simple.

1159. Quel que soit le système employé et dans les conditions les plus favorables, les meilleures machines frigorifiques ne peuvent donner une production supérieure à 20 ou 25 kilogr. de glace par kilogramme de charbon brûlé dans la chaudière qui fournit la force motrice.

Nous allons donner quelques exemples de machines frigorifiques à compression et à liquéfaction et montrer comment chaque constructeur a surmonté les difficultés qui se présentent dans l'application à la production du froid des corps que nous venons d'énumérer.

1160. Machines à éther. — Les premières machines à produire le froid par la vaporisation de l'éther sont dues à M. Carré. Elles se composent d'un compresseur, d'un réfrigérant et d'un congélateur.

Le compresseur est formé d'une pompe aspirante et foulante actionnée par une machine à vapeur. Cette pompe fait le vide dans le congélateur et aspire les vapeurs d'éther qui se produisent dans cet appareil. La dépression est ordinairement de $0^m,30$ de mercure et la température peut s'abaisser à — 30°.

Les vapeurs appelées dans la pompe sont refoulées dans un réfrigérant ou condenseur tubulaire à circulation d'eau qui enlève à l'éther autant de calories que celui-ci en a emprunté au congélateur. L'éther se condense dans les tubes et remonte par sa pression dans le congélateur où il arrive à l'état liquide.

Le congélateur comprend huit à dix chambres circulaires dont le pourtour est muni de collerettes formant rigoles et ayant pour but d'augmenter les surfaces refroidissantes.

L'intérieur des chambres communique avec l'atmosphère et

se trouve rempli d'un liquide incongelable (glycérine ou chlorure de calcium) dans lequel plongent les vases contenant les liquides à congeler.

L'éther liquide coule sur les collerettes, se vaporise et les vapeurs retournent à la pompe de compression.

Le réfrigérant est pourvu d'un tuyau de dégagement qui part de son sommet et plonge dans un vase fermé, rempli de mercure. Ce vase communique avec un autre renfermant de l'huile. L'air de purge s'échappe du condenseur par le tuyau qui plonge dans le mercure, et de là passe dans l'huile. L'air s'échappe tandis que l'éther est retenu par l'huile qui le dissout.

Au lieu d'un frigorifère avec chambres à collerettes qui sont peu commodes, on peut employer un faisceau tubulaire formé de tuyaux dans lesquels arrive l'éther liquide. Ces tuyaux sont baignés par la dissolution incongelable dont ils abaissent la température et dans laquelle on peut plonger les corps à refroidir.

La dépense de travail dans la pompe dépend de la température de l'eau du réfrigérant, car il faut d'autant moins comprimer l'éther gazeux pour le rendre liquide que la température est plus basse. De là, une assez grande variation dans l'effet produit suivant la température de l'eau dont on dispose. Avec de l'eau de source à 10°, on estime qu'un cheval-vapeur peut produire 30 kilogrammes de glace, soit $30 \times 100 = 3000$ frigories.

Mais c'est là une condition exceptionnelle, Si l'eau est moins froide et que sa température soit de 20° par exemple, on ne produit que 600 calories.

1161. Appareil Fixary, à gaz ammoniac liquéfié. — Dans ce système (fig. 649) le gaz ammoniac est comprimé directement par un piston comme dans les appareils à air.

La pompe de compression B, actionnée par une machine à vapeur est à double effet et aspire par le conduit *a* l'ammoniaque gazeuse qui se vaporise dans le frigorifère et la refoule par le tuyau *b* dans le réfrigérant C où elle se liquéfie. Dans son parcours, le gaz comprimé traverse l'épurateur D destiné à retenir l'huile de graissage qu'il a entraînée. Cet épura-

teur D est constitué par un récipient vertical à l'intérieur duquel sont disposés plusieurs cylindres concentriques en toile

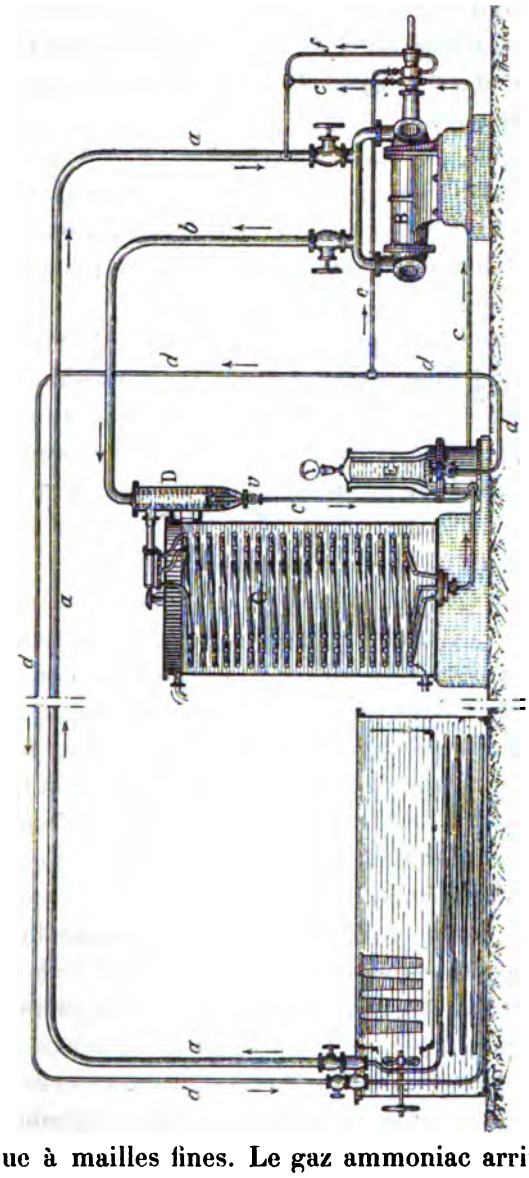


Fig. 619. — Machine frigorifique à gaz ammoniac liquéfié, système Fixary.

métallique à mailles fines. Le gaz ammoniac arrive au centre du récipient et passe au travers des toiles qui retiennent les vésicules d'huile en suspension. Celles-ci s'accumulent au bas

du récipient; pour les évacuer, il suffit d'ouvrir un robinet de vidange *v*, disposé à cet effet. L'huile recueillie est, par l'effet de la pression qui règne sur sa surface, envoyée par le conduit *c* dans le tuyau *a* d'aspiration de la pompe servant à comprimer l'ammoniaque et est utilisée de nouveau au graissage du piston et des soupapes.

L'ammoniaque, après avoir traversé le séparateur d'huile, se rend, comme nous l'avons dit, au condenseur C. Celui-ci se compose de trois serpentins concentriques renfermés dans une grande bâche cylindrique que parcourt un courant ascendant d'eau froide.

Sous l'influence de la pression intérieure qui existe dans les serpentins et de l'abaissement de température résultant de l'immersion de ceux-ci dans le courant d'eau froide, l'ammoniaque arrive liquéfiée à la partie inférieure du condenseur et coule dans un récipient E formé d'un corps cylindrique vertical à parois très résistantes. C'est de ce récipient qu'elle se rend par le tuyau *d* au robinet régleur qui permet de la distribuer aux serpentins du frigorifère dans lesquels elle se gazéifie, en empruntant sa chaleur latente de vaporisation au bain incongelable qu'elle refroidit. Suivant le cas, ces serpentins sont disposés soit dans un congélateur renfermant un liquide incongelable mis en mouvement par une hélice et dans lequel on plonge les mouleaux remplis d'eau destinée à la fabrication de la glace, soit dans une chambre que traverse l'air envoyé par un ventilateur et destiné à rafraîchir une enceinte quelconque.

On profite du refroidissement produit par l'évaporation de l'ammoniaque liquide pour créer autour de la tige du piston un joint *pâteux*, destiné à éviter les rentrées d'air et les fuites de gaz ammoniac. A cet effet, la tige du piston passe successivement dans deux presse-étoupe ordinaires, séparés par une chambre annulaire toujours remplie d'huile. Les presse-étoupe ont pour but de retenir l'huile que pourrait entraîner la tige du piston dans son mouvement de va-et-vient.

La chambre à huile est elle-même enveloppée sur une partie de sa longueur par une chambre extérieure qui reçoit constam-

ment une petite quantité d'ammoniaque liquide. Les deux chambres communiquent avec la conduite d'aspiration de la pompe de compression. En se vaporisant, l'ammoniaque contenue dans la chambre extérieure refroidit l'huile de la chambre intérieure. Le corps gras se congèle et forme une gaine d'huile figée dans laquelle glisse la tige du piston. On obtient ainsi

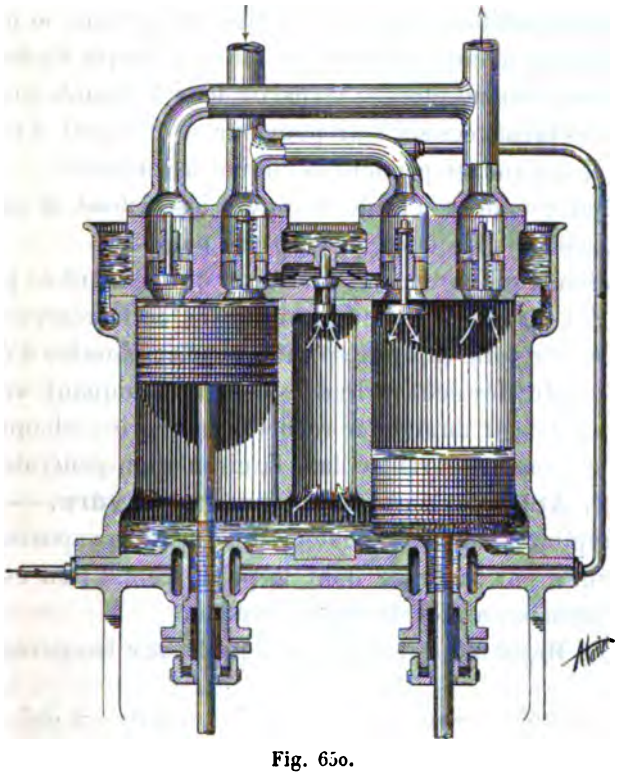


Fig. 650.

un joint hermétique et lubrifiant, désigné sous le nom de joint pâteux et qui s'oppose aux fuites de gaz ammoniac. L'huile qu'on congèle ainsi vient du séparateur et se rend à la conduite d'aspiration de la pompe B par le tube *c*. L'ammoniaque servant à la congélation est amenée liquide par le tuyau *e* branché sur *d* et les vapeurs qui se forment sont aspirées par le tuyau *f* et retournent à la pompe de compression.

Dans les petits appareils, dont la production varie de 5 à 50 kilogrammes de glace par heure, on remplace la machine horizontale que nous avons représentée par une machine verticale qui se compose de deux cylindres à simple effet (fig. 650). Au-dessous de chaque piston on a ménagé un espace libre de diamètre un peu plus grand que le corps des cylindres, et constamment rempli d'huile de graissage; c'est elle qui, refroidie, permet de constituer autour de la tige des pistons le joint pâteux dont nous avons déjà parlé; en outre, à chaque fin de course, les pistons viennent plonger en partie dans le liquide gras et les cannelures ménagées sur leur pourtour se chargent d'huile qui lubrifie les cylindres pendant la course ascendante.

Une autre couche d'huile recouvre les pistons et supprime tout espace nuisible dans les corps de pompe.

L'ammoniaque provenant des fuites qui peuvent se produire autour des pistons s'accumule au-dessus de la réserve d'huile inférieure dans une capacité spéciale appelée *chambre d'équilibre* ménagée entre les deux cylindres et communiquant avec chacun d'eux. Le gaz ammoniac recueilli est repris à chaque aspiration des pompes et rentre dans la circulation générale.

1162. Appareil à acide sulfureux anhydre. — Cet appareil appliqué par M. R. Pictet est basé sur la vaporisation de l'acide sulfureux anhydre dont le point d'ébullition est — 10° sous la pression atmosphérique normale.

D'après Regnault, cet acide est liquide aux températures de

— 20°	— 10°	0°	+ 10°	+ 20°	+ 30°

sous les pressions absolues de

0,63	1,03	1,52	2,26	3,24	4,51

évaluées en atmosphères.

L'acide sulfureux se prépare en réduisant l'acide sulfurique par le soufre à une température d'environ 400 degrés; quand il est pur, non seulement il n'attaque pas les métaux, mais encore il est agent lubrifiant; il est, par suite, inutile d'introduire

de l'huile ou des corps gras dans le corps de pompe pour assurer le graissage du piston.

L'appareil (fig. 651) à acide sulfureux comprend les divers organes déjà énumérés :

Une pompe de compression, un réfrigérant, un robinet régleur et un frigorifère ou congélateur.

La pompe de compression B aspirante et foulante, à double effet, est actionnée par un moteur. Elle aspire par le tuyau N les vapeurs d'acide sulfureux produites dans le congélateur à la pression de 0,4 atmosphère, les comprime à la pression de 2 atmosphères et les refoule par le tuyau D dans le réfrigérant C, où se produit la liquéfaction.

Le corps de pompe est à double enveloppe, le piston et sa tige sont creux. Pour diminuer l'échauffement du gaz et, par suite, le travail à développer pour la compression, on fait passer un courant continu d'eau froide, non seulement dans l'enveloppe, mais encore à l'intérieur du piston et de sa tige.

On ne peut, comme dans certaines machines frigorifiques à air, recourir à une injection d'eau dans le cylindre compresseur. En effet, l'acide sulfureux est soluble dans l'eau et, en présence de l'air dissous dans ce liquide, donne naissance à de l'acide sulfurique qui attaquerait rapidement les organes intérieurs et les parois métalliques de l'appareil.

Deux manomètres communiquant l'un, S, avec l'aspiration de la pompe de compression et l'autre, R, avec le refoulement, permettent de contrôler le fonctionnement régulier de la machine.

Le réfrigérant ou condenseur C, dans lequel se refroidit et se liquéfie l'acide sulfureux refoulé par la pompe, se compose de deux cylindres verticaux concentriques ; le plus grand est parcouru de bas en haut par l'eau qui produit le refroidissement, le plus petit fermé à ses deux extrémités est tubulaire, il reçoit l'acide sulfureux qui circule en descendant. Les tubes qui traversent le petit cylindre dans toute sa longueur sont ouverts aux deux bouts et parcourus également par le courant d'eau froide, arrivant par L et sortant par M.

Le robinet régleur K, placé entre le réfrigérant et le frigori-

fère, règle l'écoulement par le tuyau P du liquide sulfureux dont

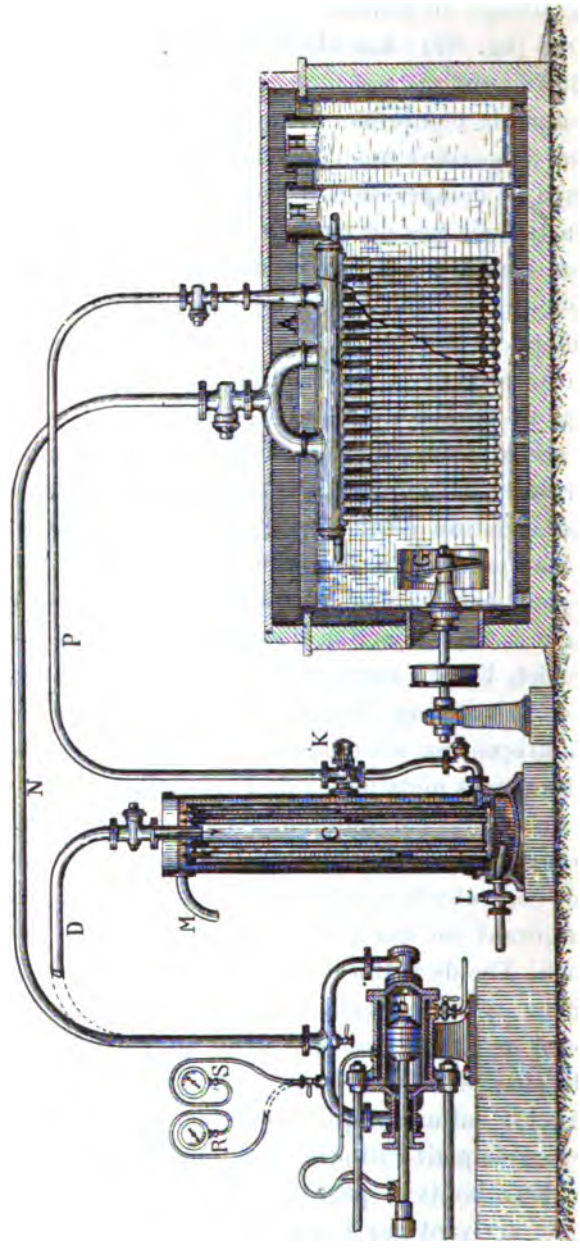


Fig. 651. — Machine frigorifique à acide sulfureux, système Pictet.

l'évaporation dans le frigorifère détermine la production du froid.

Le frigorifère A se compose de deux cylindres horizontaux parallèles de 0,15 de diamètre, réunis par un grand nombre de tubes en U de 0,04. Cet ensemble est installé à l'intérieur d'une caisse en tôle remplie d'un liquide incongelable dans lequel plongent les moules qui contiennent l'eau à congeler.

Pendant la marche normale, le frigorifère doit toujours être rempli d'acide sulfureux liquide jusqu'au tiers environ de la hauteur des deux cylindres horizontaux. On maintient le liquide à ce niveau en introduisant par le tuyau P, d'une manière continue et en quantité suffisante, de l'acide sulfureux liquéfié pris dans le condenseur. Un tuyau N terminé en fourche relie le frigorifère aux deux tubulures d'aspiration de la pompe de compression qui produit à la surface du liquide, dans les deux cylindres du frigorifère, une dépression ayant pour effet de faire volatiliser une partie de l'acide sulfureux et, par suite, d'abaisser la température du liquide incongelable dans lequel il est plongé. Par le tuyau D, également à fourche comme le précédent et relié avec les deux tubulures de refoulement de la pompe, on envoie dans le condenseur le gaz sulfureux comprimé. Ce gaz se liquéfie et reforme le liquide qu'on écoule dans le frigorifère pour remplacer celui qui se vaporise et qui est aspiré par la pompe de compression. On entretient ainsi une évaporation continuelle maintenant la basse température du frigorifère.

D'après M. Pictet, cet appareil permet de produire de la glace dont le prix de revient est de 1 centime seulement par kilogramme fabriqué.

1163. Calcul de la quantité d'acide sulfureux à employer. — Admettons qu'il s'agisse d'une production de froid évaluée à 10,000 frigories, c'est-à-dire de la fabrication de 100 kilogr. de glace à la température de $-10°$ en se servant d'eau à la température de $+10°$.

La chaleur latente de vaporisation de l'acide sulfureux est 97 ; à l'état liquide, sa chaleur spécifique est environ 0,25. Comme la liquéfaction est produite dans le condenseur à la température de $+15°$ et que l'acide sulfureux liquide est à $-10°$

dans le congélateur, le nombre de frigories utilisables dans ce dernier appareil par kilogr. d'acide se trouve approximativement ramené à $97 - 25 \times 0,25 = 91,75$. Le poids d'acide sulfureux qu'il convient d'employer est égal à $\frac{10\,000}{91,75}$ soit 109^k.

En calculant d'une manière analogue les poids d'éther ou d'ammoniaque nécessaires, on trouve qu'il faut environ 120 kilogr. d'éther et 45 kilogr. d'ammoniaque.

1164. Appareils à acide carbonique liquide, système Windhausen. — Cet appareil (fig. 652), construit par MM. Halot et Cie, figurait à l'Exposition universelle de 1889 et comprend les mêmes éléments que les précédents, c'est-à-dire une pompe de compression, un réfrigérant, un robinet régleur et un congélateur ou frigorifère; mais il occupe un espace plus restreint, parce que l'agent employé a une puissance frigorifique considérable.

La pompe de compression se compose d'un cylindre vertical B, dans lequel se meut un piston plein. Le corps de pompe communique à sa base avec un cylindre C, rempli de glycérine. Le va-et-vient du piston fait alternativement descendre et monter le niveau du liquide dans le cylindre C et produit ainsi l'aspiration et le refoulement de l'acide carbonique. Celui-ci est comprimé à une pression de 70 à 80 atmosphères, s'écoule par la soupape E et gagne par le tuyau F le serpentin G. Son refroidissement, d'où résulte sa liquéfaction, est produit par le courant d'eau qui circule de bas en haut dans le réfrigérant.

L'acide liquide traverse ensuite le robinet régleur H, et se volatilise dans le frigorifère; les vapeurs refroidies à — 15° conservent encore une pression de 25 atmosphères. Elles parcourent en montant le serpentin I plongé dans la solution incongelable qu'elles refroidissent. Arrivées à la partie supérieure, elles suivent le tuyau J qui aboutit à la soupape d'introduction D et les ramène à la pompe.

Tel est l'ensemble général de cet appareil, qui comprend, en outre, certaines dispositions de détails particulières dont nous dirons quelques mots. Ainsi, il faut éviter les pertes

de glycérine provenant soit des fuites par les garnitures du piston et par le presse-étoupe, soit des entraînements par les vapeurs d'acide. Pour parer aux premières, le cylindre B est pourvu d'une soupape auxiliaire s'ouvrant à l'aspiration et par laquelle la glycérine qui s'est échappée revient au-dessus du piston chaque fois que celui-ci descend ; elle passe ensuite dans C,

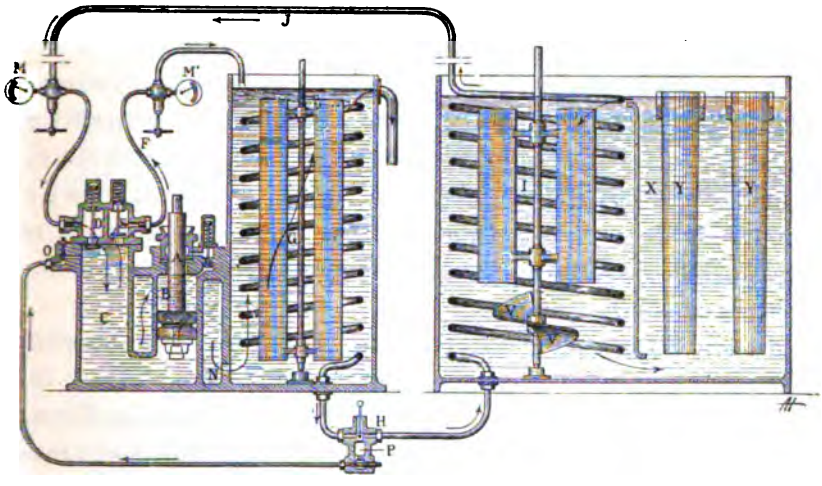


Fig. 652.

lorsque le piston remonte ; quant à la glycérine entraînée, elle est recueillie dans le petit réservoir P placé au-dessous du régleur H et fait retour au cylindre de compression après avoir traversé la soupape O. La chaleur produite par le frottement du piston compresseur est très grande ; aussi, pour éviter l'échauffement, fait-on passer l'eau qui se rend au condenseur autour du cylindre B qui est, à cet effet, pourvu d'une double enveloppe.

Une autre préoccupation des constructeurs pour activer le refroidissement, a été d'assurer le renouvellement continuel des liquides au contact des serpentins du réfrigérant et du congélateur. Ce résultat est obtenu au moyen d'agitateurs à ailettes montés sur des axes verticaux animés d'un mouvement de rotation. Le frigorifère, qui contient le liquide salin incongelable, est, en outre, pourvu d'une hélice fixée sur l'arbre des

ailettes et qui assure la circulation du liquide refroidi dans la bâche adjacente recevant les moules à glace; de cette façon, la solution saline circule méthodiquement, comme l'indiquent les flèches, d'abord au contact du serpentin du frigorifère qui la refroidit et, ensuite, au contact des moules à glace auxquels elle emprunte de la chaleur et dont elle abaisse la température.

Enfin, deux manomètres M' et M, branchés l'un sur l'aspiration, l'autre sur le refoulement de la pompe, permettent de constater à chaque instant les pressions dans l'appareil.

A puissance frigorifique égale, les compresseurs des machines à acide carbonique sont, d'après Windhausen, respectivement 50, 35 et 15 fois moindres que ceux des machines à éther, à acide sulfureux et à ammoniaque, mais, par contre, dans les conditions de travail les plus avantageuses, on constate des pressions de 20 atmosphères dans le frigorifère et de 70 atmosphères dans le compresseur.

1165. Appareil à chlorure de méthyle. — M. Vincent a étudié un appareil permettant de produire le froid à l'aide du chlorure de méthyle et que construisent MM. Douane et Jobin. Cet appareil (fig. 653) comprend les éléments essentiels de toute machine à froid, savoir : la pompe P, le réfrigérant ou condenseur C, le robinet régleur 6 et le congélateur ou frigorifère F. La pompe, qui aspire par la conduite 1 les vapeurs de chlorure de méthyle venant du congélateur et les refoule sous pression au réfrigérant C, se compose de deux cylindres verticaux conjugués pourvus chacun d'un piston à simple effet AA et disposés à l'intérieur d'une bâche G dans laquelle circule un courant d'eau froide. La compression s'effectue sur la face supérieure des pistons, les tiges de ceux-ci se trouvant au-dessous; cette disposition permet d'éviter les fuites par les presse-étoupe.

Entre les deux cylindres se trouve une chambre B communiquant avec la partie inférieure de chacun d'eux et dans laquelle viennent les vapeurs provenant des fuites autour des garnitures des pistons. Ces vapeurs retournent à l'aspiration au moyen du tube 2.

Un bain de glycérine recouvre le fond des deux cylindres et

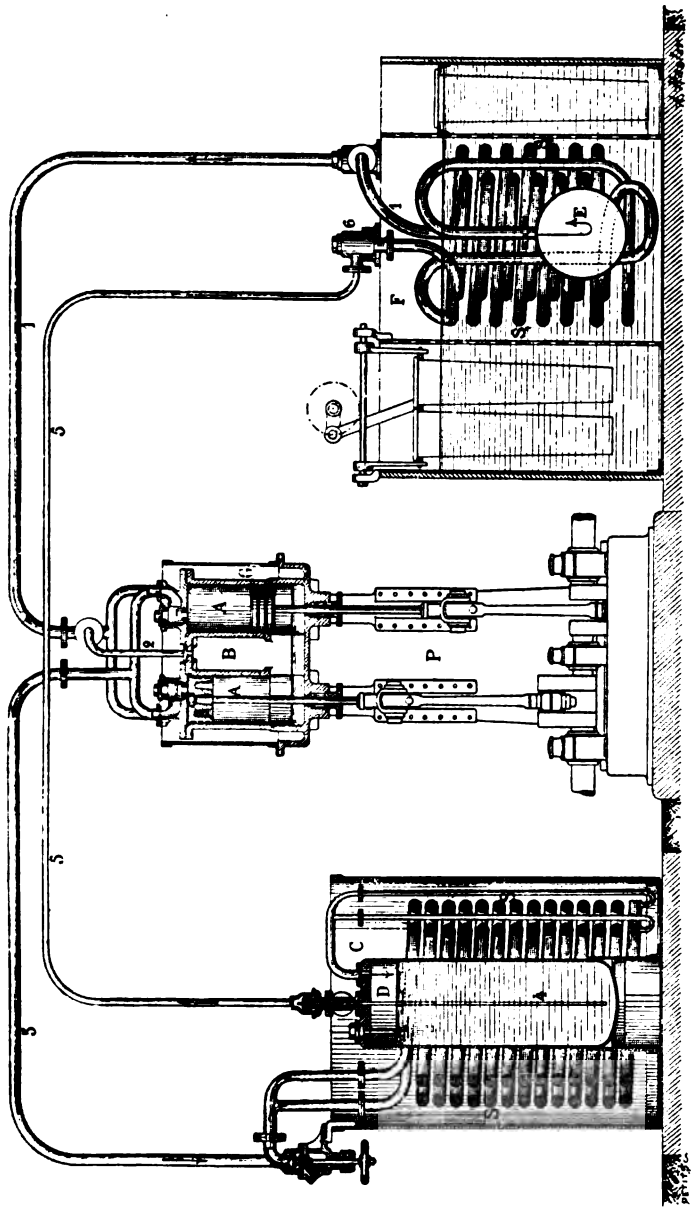


Fig. 653. — Machine frigorifique à chlorure de méthyle, système Vincent.

s'oppose aux pertes de gaz ; la chambre B est munie d'un orifice

fermé par un bouchon, ce qui permet de remplacer de temps en temps la glycérine qui a pu s'échapper par les presse-étoupe, en quantité d'ailleurs toujours très faible, car il est bien plus facile de s'opposer aux fuites d'un liquide visqueux comme la glycérine qu'à celles d'un gaz.

Les vapeurs comprimées se rendent par le tuyau 3 au condenseur, constitué par deux serpentins concentriques SS dans lesquels la circulation se fait simultanément, et d'un réservoir central D où s'accumule le liquide sous pression. Le tout est enfermé dans un réservoir en tôle C que parcourt en montant un courant d'eau froide.

Sous l'influence de la pression, le chlorure de méthyle s'élève dans le tube plongeur 4 et gagne, par le tuyau 5, le robinet 6, puis il pénètre dans le frigorifère S_1 formé d'un double serpentin et s'y vaporise en empruntant de la chaleur aux corps environnants. Quand on veut fabriquer de la glace, le frigorifère S_1 est immergé dans une solution de chlorure de calcium qui baigne les moules à glace. Au centre du serpentin, et lui faisant suite dans le circuit général, se trouve un réservoir cylindrique horizontal E de même capacité que le réservoir D. Ce récipient E, qu'on peut comparer à un séparateur d'eau et de vapeur, a pour but de retenir les parties de chlorure de méthyle qui ne se sont pas volatilisées. Elles se déposent dans le fond du réservoir E et la pompe, dont le tuyau 1 d'aspiration débouche à la partie supérieure de E, n'aspire jamais que des vapeurs.

Dans l'appareil qui fonctionnait à l'Exposition universelle de 1889, la bâche du réfrigérant était partagée, par deux tôles verticales largement perforées, en trois compartiments longitudinaux de largeurs différentes; le compartiment du milieu était occupé par le serpentin S_1 et son réservoir E. Le plus petit compartiment renfermait une rangée de mouleaux où l'on préparait de la glace opaque et le dernier renfermait deux rangées de mouleaux dans lesquels on obtenait de la glace transparente. Pour cette dernière fabrication, les mouleaux contenant l'eau à congeler étaient disposés sur un châssis pouvant osciller

autour de son axe transversal et recevant un mouvement continu de balancement à l'aide d'une bielle et d'une manivelle reliée à la transmission de mouvement.

Ce balancement favorise le dégagement des bulles d'air qui causent l'opacité des blocs de glace lorsqu'elles y restent emprisonnées. Une hélice actionnée par le moteur assure la circulation du liquide incongelable dans le frigorifère.

La pression dans l'appareil varie suivant la température de l'eau qui circule autour du condenseur. Quand cette dernière est à 20°, il faut compter sur une pression d'environ 4 à 5 kilogr.

Certains de ces appareils destinés aux colonies ont été essayés en faisant arriver au bas du réfrigérant de l'eau à 32°; il est alors nécessaire d'élever la pression pour obtenir la liquéfaction et, par conséquent, le travail demandé au moteur est un peu augmenté.

MACHINES A ÉVAPORATION DE LIQUIDE ET A DISSOLUTION DES VAPEURS PRODUITES.

1166. Machines à affinité. — Les machines à évaporation dont nous venons de nous occuper reposent toutes sur le principe de Leslie. M. Carré a étudié un système d'appareils à ammoniaque dans lesquels il applique le principe de Faraday. Ces appareils sont désignés sous le nom de machines à affinité; ils ont été perfectionnés par MM. Mignon et Rouart qui en ont rendu l'emploi plus commode.

Nous allons décrire l'appareil construit par MM. Rouart frères, et qui était en service à l'Exposition universelle de 1889. Il comprend (fig. 654) une chaudière verticale A, un réfrigérant ou liquéfacteur B, un robinet régleur C, un congélateur D, un vase à absorption E et divers autres organes accessoires.

Les diverses phases de l'opération sont les suivantes :

1° Dans la chaudière, vaporisation de l'ammoniaque à 130° et sous la pression de 8 à 10 atmosphères;

2° Dans le réfrigérant, refroidissement et condensation de l'ammoniaque sous la pression de 8 ou 10 atmosphères.

3° Dans le congélateur, vaporisation de l'ammoniaque et abaissement de température et de pression (— 20° C. et 1 atmosphère).

La solution concentrée d'ammoniaque est amenée par le tuyau *a* au sommet de la chaudière verticale A munie d'un indicateur de niveau, d'un manomètre (non figuré)et d'une soupape de sûreté. Les vapeurs qui se dégagent par la soupape peuvent ne pas être perdues. Pour les recueillir, on enveloppe la soupape et on les envoie dans un vase contenant de l'eau et placé dans le voisinage de la chaudière.

Le chauffage s'effectue soit à feu nu, soit par un serpentin de vapeur (fig. 654). Le liquide ne remplit que la moitié inférieure de la chaudière. La partie supérieure est garnie d'une série de plateaux analogues à ceux des colonnes distillatoires ; la dissolution ammoniacale refoulée par *a* coule de plateau en plateau, alternativement au centre et à la circonférence, en s'échauffant au contact des vapeurs qui se dégagent du liquide chaud et qui deviennent de plus en plus riches à mesure qu'elles s'élèvent, puisque, dans le trajet du liquide, la plus grande partie de l'ammoniaque se dégage à l'état gazeux. La pression dans la chaudière est voisine de 10 kilogr.

Le gaz s'échappe par une tubulure disposée au sommet de la chaudière et gagne le réfrigérant B, tandis que la solution appauvrie et, par suite, plus dense, s'écoule au contraire à la partie inférieure par le tuyau *f*, puis, en vertu de la pression qui règne dans la chaudière, se rend au régénérateur ou mieux à l'échangeur de température F dont il sera parlé plus loin.

Le réfrigérant B dans lequel arrivent les vapeurs sortant de la chaudière est constitué par une bâche cylindrique renfermant un serpentin que l'ammoniaque parcourt en descendant. Une circulation d'eau froide s'effectue de bas en haut dans la bâche et produit un refroidissement, suffisant pour liquéfier les vapeurs sous la pression existant dans le serpentin.

L'ammoniaque liquide gagne alors un petit réservoir C très résistant et pourvu d'un indicateur de niveau qui permet de s'assurer du fonctionnement régulier de l'opération. Du réser-

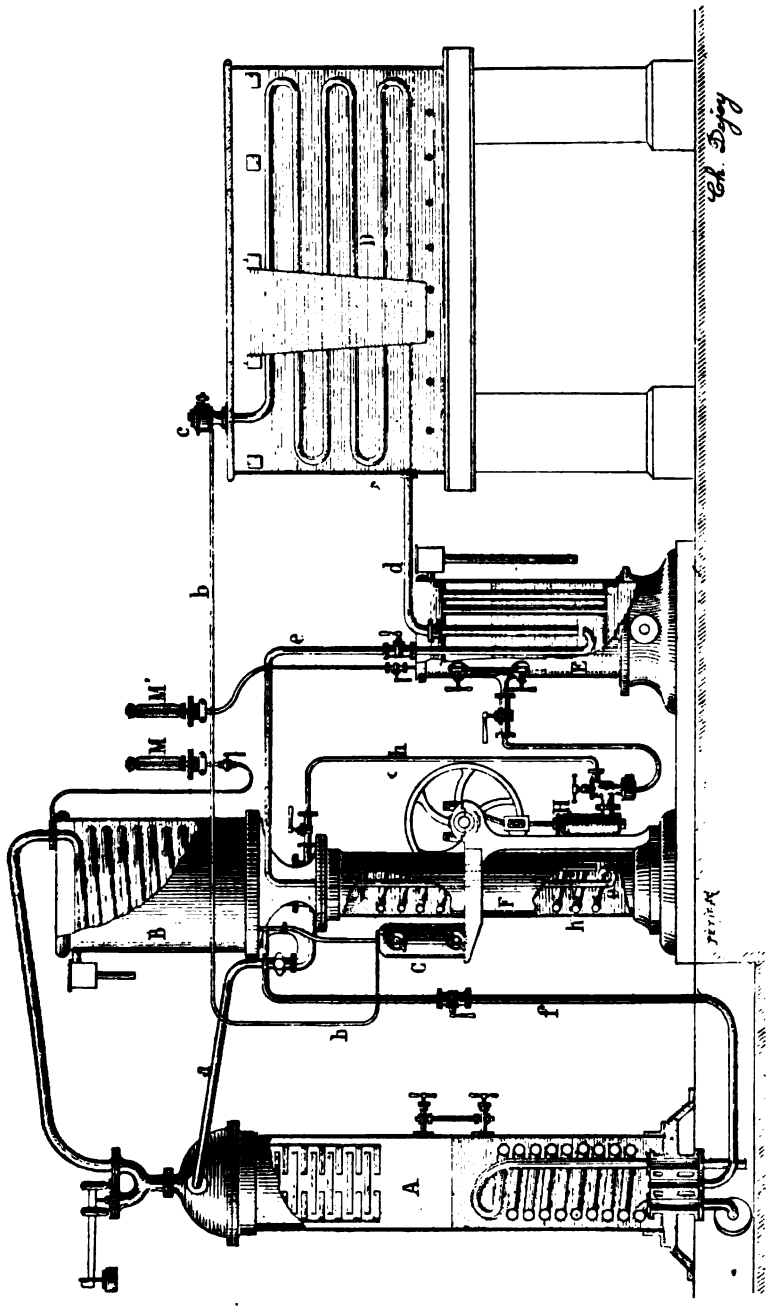


Fig. 654. — Machine frigorifique à dissolution d'ammoniaque (MM. Rouart frères).

voir C, l'ammoniaque liquide se rend par le tuyau *b* et le robinet de réglage *c* au serpentin frigorifère dans lequel elle se vaporisera en produisant le froid. Suivant le but à atteindre, ce serpentin est enfermé dans une chambre où circule de l'air à refroidir, ou bien il se trouve immergé (fig. 654) dans un vase rempli d'une dissolution de chlorure de calcium qui baigne des mouleaux à glace. La température du bain incongelable peut être maintenue à — 15° ou — 20° C.

Pour que l'ammoniaque se volatilise d'une manière continue dans les spires du serpentin du congélateur en produisant du froid, il faut absorber les vapeurs à mesure de leur formation et, pour que le cycle soit fermé, il faut faire rentrer dans la chaudière une dissolution ammoniacale identique à celle qui s'y trouvait primitivement; c'est là le but de cette seconde partie de l'opération.

Au sortir du frigorifère D, le gaz se rend par le tuyau *d* au vase absorbant E dans lequel il rencontre le liquide pauvre et refroidi venant de la chaudière ; le phénomène de la dissolution est accompagné d'un grand dégagement de chaleur qui ne tarderait pas à s'opposer à l'absorption de nouvelles vapeurs d'ammoniaque, aussi est-il nécessaire de refroidir constamment. A cet effet, le vase absorbant E est traversé par un faisceau tubulaire à l'intérieur duquel de l'eau froide en quantité suffisante circule de bas en haut. L'ammoniaque est absorbée sous une pression de 1 atmosphère à $1^{atm}.5$. Le liquide régénéré est refoulé sous une pression de 10 kilogr. par la pompe H ; il passe dans le tuyau *h* et se dirige vers la chaudière.

Cependant, il ne se rend pas directement dans celle-ci, il traverse d'abord l'échangeur de température F où il commence à se réchauffer, ce qui n'a plus d'inconvénient, puisque les vapeurs d'ammoniaque qui pourraient se dégager se rendent dans la chaudière A. Dans l'échangeur F, la chaleur est apportée par la solution pauvre qui sort de la chaudière A pour gagner le vase absorbant E ; le liquide pauvre parcourt en descendant un serpentin baigné par la solution concentrée d'ammoniaque qui s'élève dans l'appareil F. Celle-ci s'échauffe

avant de rentrer dans la chaudière A où elle arrive par le tuyau *a* qui débouche à son sommet. Cet échange de chaleur permet de réduire la consommation d'eau froide dans le vase absorbant et la dépense de chaleur dans la chaudière. Il en résulte une double économie et un perfectionnement important de ce genre de machines. L'appareil est pourvu de deux manomètres M M' qui indiquent respectivement la pression dans le serpentin liquéfacteur et dans le vase d'absorption.

Dans les machines à affinité, il faut éviter avec le plus grand soin les entraînements d'eau qui, non seulement augmentent inutilement la quantité de chaleur à fournir à la chaudière, mais encore diminuent la puissance frigorifique de l'ammoniaque dans le congélateur.

Comme il faut absorber deux fois la chaleur latente de vaporisation de l'ammoniaque, une fois dans le condenseur et une fois dans le vase d'absorption, la quantité d'eau à dépenser avec ces machines est environ le double de celle exigée par les machines à compression.

Le rendement des machines à affinité peut atteindre de 25 à 30 kilogr. de glace par kilogr. de charbon brûlé dans la chaudière.

APPLICATIONS.

1167. Fabrication de la glace transparente. — La glace artificielle obtenue avec les machines à froid est, en général, opaque. Lorsqu'on veut avoir de la glace transparente, il faut débarrasser l'eau à congeler de l'air qu'elle tient en dissolution. On arrive à ce résultat en agitant l'eau pendant la congélation (**1165**), ou en lui faisant subir soit une distillation, soit une ébullition préalable, ou encore en utilisant les eaux de condensation des machines à vapeur. Généralement, on prend les eaux de condensation de la machine qui actionne la pompe de compression de l'appareil frigorifique. C'est ce procédé qui est appliqué dans la machine Fixary, représentée figure 655.

La vapeur d'échappement de la machine est amenée par le tuyau 1 au récipient G où elle se sépare de l'huile entraînée. Cette séparation s'effectue par action mécanique, en faisant passer la vapeur à travers une série de tôles rapprochées et percées d'un grand nombre de petits orifices. En sortant du séparateur, la vapeur est condensée en J par une injection directe d'eau froide qui vient compléter dans la mesure voulue la quantité de liquide nécessaire à la fabrication de la glace. En effet, le travail fourni par 1 kilogr. de vapeur d'eau utilisé dans la machine à vapeur permet d'obtenir un poids de glace

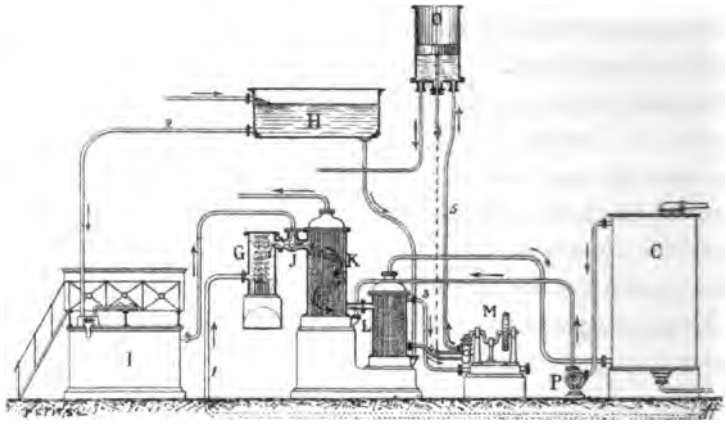


Fig. 655.

supérieur à 1 kilogr. Il est donc nécessaire d'ajouter l'eau qui manque.

L'eau ainsi injectée vient d'un réservoir supérieur H d'où elle se rend par le tuyau 2 au filtre I avant de passer au condenseur J ; l'élévation de température qu'elle éprouve en condensant la vapeur, la débarrasse d'une quantité d'air suffisante pour que la glace, obtenue avec le liquide résultant du mélange de vapeur condensée et d'eau injectée, soit encore transparente. Le liquide sortant du condenseur J commence à se refroidir dans le réfrigérant tubulaire K où il tombe en cascade sur des plans inclinés disposés en hélice, tandis qu'à l'intérieur des tubes circule en montant l'eau qui pro-

vient du condenseur à ammoniaque C et qui est refoulée par la pompe centrifuge P. Le refroidissement s'achève dans le deuxième réfrigérant L dont les tubes sont parcourus par de l'eau qui vient du réservoir H et se rend au condenseur C. Ce réfrigérant L est pourvu à sa partie supérieure d'un tuyau d'aspiration d'air 3 et, à sa partie inférieure, d'un tuyau d'aspiration d'eau 4, reliés l'un à la pompe à air, l'autre à la pompe à eau de la machine M; enfin, l'eau refroidie et privée d'air est refoulée par le tuyau 5 à l'accumulateur O dans lequel elle est emmagasinée.

Lorsqu'on introduit de l'eau dans les moules à glace, on a soin d'éviter l'absorption de l'air pendant le remplissage, en faisant descendre l'extrémité du tube d'alimentation jusqu'au fond du moule à remplir. De cette façon, on supprime la trop vive agitation qui se produirait à la surface du liquide et on se met à l'abri de l'entraînement d'air que provoque toujours un filet d'eau tombant d'une certaine hauteur dans une masse liquide.

On peut encore obtenir de la glace transparente par la congélation lente de l'eau à une température voisine de 0° ou en la privant d'air par l'action du vide. Ces moyens sont peu employés, on fabrique le plus souvent de la glace opaque pour les besoins industriels ou domestiques.

1168. Conservation de la glace. — Lorsqu'on a besoin de glace pendant les chaleurs de l'été et qu'on ne dispose pas d'appareils frigorifiques, on peut, dans les pays froids ou tempérés, conserver la glace qui se produit naturellement pendant l'hiver. Les locaux dans lesquels on emmagasine la glace dans ce but portent le nom de glacières.

Une glacière (fig. 656) est, en général, constituée par une sorte de citerne en forme de tronc de cône dont les parois sont en maçonnerie épaisse recouverte intérieurement d'une chape en ciment. La glacière est fermée à sa partie supérieure par une voûte en maçonnerie recouverte de terre ou bien se trouve pourvue d'une couverture en chaume très épaisse. Ces diverses dispositions sont prises pour réduire le plus possible

la transmission de chaleur et éviter la fusion trop rapide de la glace emmagasinée.

Le fond de la citerne est également conique et en son centre se trouve une grille placée au-dessus d'un puisard dans lequel descend l'eau provenant de la fusion de la glace. Cette eau est absorbée directement, si le terrain est perméable, ou bien

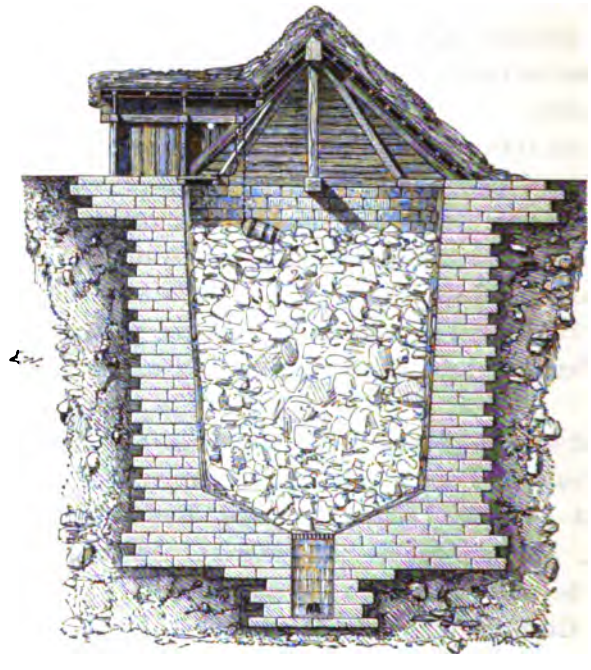


Fig. 656.

s'écoule par des tuyaux en pente qui l'amènent à l'air libre lorsque la glacière est établie sur le flanc d'un coteau.

L'entrée de la glacière doit toujours être placée au nord et doit comprendre deux portes, séparées par un certain intervalle formant sas, et ayant pour but d'empêcher la communication directe entre l'intérieur et l'atmosphère.

Il est facile de comprendre que les glacières de grandes dimensions sont plus avantageuses que les petites, puisque, pour des corps semblables, les volumes croissent plus rapide-

ment que les surfaces et que le réchauffement reste proportionnel à la surface des parois.

Lorsqu'on emmagasine de la glace, certaines précautions doivent être prises. On dispose d'abord de la paille contre les parois de la glacière, on place ensuite les blocs de glace en évitant de laisser des vides. Souvent même on brise les blocs et on arrose la glace avec de l'eau froide afin d'obtenir une masse compacte. On voit donc d'après cela qu'on ne doit charger les glacières que par un temps froid et sec.

Quand la glacière est remplie, on recouvre la masse de glace d'une couche de paille sur laquelle on met du bois ou des pierres.

Pour les glacières de moindre importance, lorsqu'il est difficile de fouiller le sol, on peut établir toute la construction ou une portion seulement au-dessus du niveau du sol. On la recouvre ensuite d'un monticule de terre qui enveloppe toute la maçonnerie.

On opère encore ainsi quand le niveau de la couche d'eau du terrain est voisine de la surface du sol. On est alors obligé de disposer la glacière en contre-haut, car il est nécessaire que l'eau provenant de la fusion de la glace puisse toujours s'écouler à mesure de sa formation.

On donne encore le nom de *glacières* à des appareils domestiques dans lesquels on conserve la glace que l'on consomme pendant la journée. Ce sont des caisses en bois, dans la construction desquelles on prend toutes les précautions usuelles pour se mettre à l'abri du réchauffement. Ces glacières ont de doubles parois entre lesquelles sont placées des couvertures de laine, des édredons ou d'autres matières peu conductrices de la chaleur telles que la paille hachée, la sciure de bois, etc.

Autrefois on transportait, par navire, de la glace d'Amérique à Calcutta. La durée du transport était à cette époque d'environ cinq à six mois. L'emploi des machines frigorifiques, permettant de fabriquer la glace sur place, a fait disparaître cette industrie.

1169. Refroidissement de l'air à basse température. — Une application importante des machines à produire le froid est le refroidissement de l'air des caves de brasseries, ou des chambres servant à conserver la viande, etc.

Nous avons déjà dit qu'à bord des navires on employait en général l'air froid détendu des machines frigorifiques, ce qui, bien que coûteux, est d'une grande simplicité; à terre, où l'on dispose facilement des agents chimiques nécessaires aux diverses machines à froid, on cherche à produire l'air froid plus économiquement; on y arrive de plusieurs façons en opérant d'une manière indirecte. On peut faire passer à travers une couche de liquide incongelable à basse température l'air qu'on envoie dans les salles à refroidir, mais ce procédé a l'inconvénient d'user par entraînement une quantité de dissolution saline assez importante; aussi préfère-t-on, en général, laisser l'air se refroidir au contact des tubes dans lesquels circule la dissolution froide et qui sont alors habituellement fixés au plafond. L'air de cette partie de la salle augmente de densité en se refroidissant et descend vers le sol, tandis que l'air qui se réchauffe monte vers le plafond où il se refroidit à son tour et redescend ensuite. Il se produit une circulation continue qui favorise le refroidissement du local.

M. Lavergne emploie des tuyaux à ailettes, semblables à ceux qu'on utilise pour le chauffage, et dans lesquels circule le gaz ammoniac détendu d'une machine frigorifique.

1170. Chaque fois que l'on produit le refroidissement de l'air par sa circulation au contact de tubes froids, il est nécessaire de débarrasser la surface des tubes du givre qui la recouvre peu à peu et entrave rapidement la transmission du froid. M. Fixary opère ce dégivrement méthodiquement au moyen d'un dispositif ingénieux qui fonctionnait à l'Exposition universelle de 1889, où on l'employait à la conservation de la viande. Voici le principe de cet appareil, représenté figure 657.

Deux serpentins A et B, parallèles entre eux, sont renfermés dans deux chambres voisines.

Dans la première phase d'une opération, l'air à refroidir

passe d'abord sur le serpentin B inactif, puis sur le serpentin A qui renferme seul le gaz ammoniac détendu. Lorsque A est recouvert de givre, on manœuvre les robinets de manière à envoyer l'ammoniaque dans B seul et on renverse la circulation de l'air affluent. Ce gaz commence alors à se refroidir en fondant la glace déposée sur A et l'eau de fusion s'écoule hors de l'appareil; puis, l'air se sèche sur le second serpentin en abandonnant à l'état de givre la vapeur d'eau qu'il contient encore.

Lorsque le serpentin B est couvert de givre à son tour, on cesse d'y faire passer l'ammoniaque qu'on envoie alors dans A;

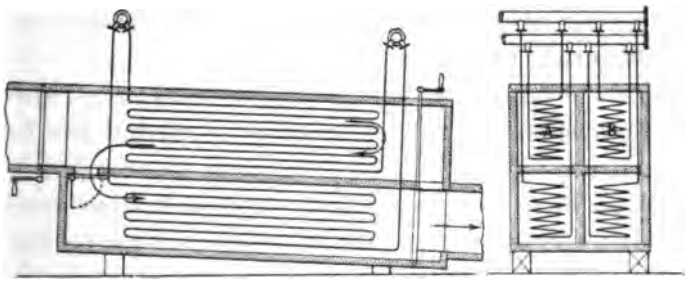


Fig. 657.

en même temps, on fait d'abord passer l'air à refroidir au contact des tubes du serpentin B, puis on l'envoie sur le serpentin A, et ainsi de suite.

En pratique, on ajoute deux autres serpentins (fig. 657) que l'on dispose au-dessous des deux premiers. Ils achèvent de refroidir l'air et en même temps servent de témoins. Si l'opération est bien menée, leurs tubes ne doivent pas se recouvrir de glace. Ce réfrigérant a reçu d'importantes applications en France et en Allemagne.

1171. Conservation de la viande. — La conservation de la viande présente une importance toute particulière, principalement dans les grandes villes; dans ces dernières, en effet, on est parfois forcé, surtout pendant les chaleurs de l'été, de conserver dans les abattoirs, pendant plusieurs jours et même

quelquefois pendant plusieurs semaines, du bétail vivant; on réaliserait évidemment une grande économie en tuant dès leur arrivée les animaux destinés à la boucherie.

Dans ces dernières années, on a cherché à apporter en Europe de la viande fraîche venant de l'Amérique du Sud, sans être obligé de transporter le fourrage nécessaire pour la nourriture du bétail pendant la traversée. Le moyen employé consiste à conserver la viande abattue dans un milieu maintenu à une température voisine de 0°.

On peut y arriver à l'aide des machines à froid que nous avons décrites, soit en insufflant dans les chambres de conservation de l'air refroidi, soit en y disposant des tuyaux parcourus par une dissolution froide ; nous avons indiqué ces deux procédés (**1151, 1169**).

Dans les installations de moindre importance et quand le séjour de la viande dans les garde-manger ne doit pas trop se prolonger, on se sert de glace. On place les matières à conserver dans une caisse entourée de toutes parts d'une couche de glace renfermée elle-même dans une enceinte à parois isolantes et percée à sa base d'un orifice pour l'écoulement de l'eau de fusion.

Cet appareil peut être placé dans une citerne établie en contrebas du sol; on épuise alors l'eau de fusion au moyen d'une petite pompe à main.

Des dispositions analogues ont été adoptées dans les wagons qui servent au transport de la bière.

MM. Rouart frères proposent pour le transport des viandes une disposition basée sur le même principe, mais permettant de conserver pendant un temps assez long la viande congelée. Leur appareil se compose de deux caisses en tôle placées l'une dans l'autre, laissant entre leurs parois et sur toutes les faces un vide rempli d'une dissolution incongelable dans laquelle sont placés des serpentins que l'on peut mettre en communication avec une machine à produire le froid. La température de la dissolution peut être ainsi abaissée jusqu'à — 10°, par exemple, et, si l'appareil est bien installé, il suffit de faire fonctionner la

machine frigorifique une fois ou deux par mois, pour que la température reste assez basse dans la caisse intérieure.

S'il s'agit du transport par mer, on peut, avec cet appareil, éviter l'installation d'une machine frigorifique, à bord des navires, mais on doit avoir sur le trajet un ou deux ports de relai pourvus d'installations frigorifiques.

MM. Rouart ont même étendu ce principe en transformant la cale entière du navire en chambre froide; contre les parois du bateau se trouve un premier revêtement en bois, puis une couche de matière isolante, ensuite un second revêtement en bois, et enfin les deux cloisons métalliques comprenant entre elles la dissolution saline. Un modèle de ce dispositif figurait à l'Exposition du Ministère de la Guerre en 1889

CHAPITRE VIII

VENTILATION ET CHAUFFAGE DES LIEUX HABITÉS. — GÉNÉRALITÉS

§ Ier

VENTILATION.

1172. Considérations générales. — Les fonctions de la vie ne peuvent s'accomplir d'une manière normale et régulière chez l'homme qu'autant qu'il est placé dans un air pur, auquel il emprunte l'oxygène nécessaire à sa respiration et que la température de son corps reste très sensiblement constante.

Or, la respiration donne lieu à une véritable combustion et à un dégagement de produits (acide carbonique, vapeur d'eau et matières organiques) qui sont rejetés dans l'atmosphère ambiante dont ils tendent ainsi à souiller la pureté.

En plein air, ces produits viciés se diluent dans une masse énorme et doivent disparaître promptement, car on a maintes fois constaté que la composition de l'atmosphère reste absolument invariable.

Dans une enceinte fermée, il n'en est plus ainsi; l'atmosphère confinée s'altère et peut même devenir irrespirable si on n'a pas soin de ventiler, c'est-à-dire d'assurer par des moyens convenables un renouvellement d'air suffisant.

1173. Nécessité de la ventilation. — Quand on séjourne peu de temps dans une salle occupée par un certain nombre de

personnes, on ne s'aperçoit pas, le plus souvent, de la viciation de l'air ; mais, si on se place aux conduits d'évacuation de l'air vicié, les effets produits par cette altération prennent une intensité telle qu'on en est immédiatement frappé. Quelques faits feront comprendre combien cette modification de l'air est devenue dangereuse et combien, par suite, la ventilation est chose indispensable.

Dans une salle de bal où personne ne paraissait gêné par l'état de l'air, le pompier de service, obligé de se tenir près du plafond, dans le conduit de sortie de l'air vicié de la salle, n'y pouvait rester plus d'une demi-heure ; au bout de ce temps, il était pris de vertiges, de nausées suivies de syncopes.

La même insalubrité, caractérisée par une odeur des plus désagréables, a été constatée par Péclet dans la cheminée de ventilation de la Chambre des députés.

Dumas, ayant eu occasion de s'occuper de la circulation de l'air dans la salle des séances des députés, reconnut que, tandis qu'on était dans une position tolérable sur le plancher de la salle, l'air au plafond était insupportable, les métaux s'y sulfuraient rapidement et les hommes ne pouvaient pas y séjourner sans inconvénient grave.

« A une certaine époque », dit ce savant, « on avait essayé pour les écoles une disposition particulière de ventilation qui paraissait satisfaisante ; l'air frais entrait largement par une des extrémités de la salle et la sortie se faisait par un orifice placé au-dessus et à peu de distance de la maîtresse d'école. On s'aperçut bientôt que les maîtresses devenaient malades. Elles avaient des accidents nerveux très pénibles, tombaient dans un grand état d'anémie et étaient obligées de suspendre leur service. On reconnut la cause de ces désordres ; on renonça à pratiquer la ventilation de cette manière et tous ces accidents cessèrent. »

On conçoit d'après cela que l'accumulation d'air vicié dans un espace habité peut produire les accidents les plus graves et qu'il serait impossible de séjourner longtemps sans grand danger dans une enceinte hermétiquement close, où l'air

ne se renouvelle pas. Cela est, du reste, prouvé par de nombreuses expériences faites sur des animaux qu'on enfermait dans une petite chambre close en verre ; au bout de peu de temps ils étaient pris de malaise et leur mort survenait promptement.

Béclard cite des faits qui confirment ces expériences.

En 1750, aux assises d'Old-Bailey en Angleterre, qui se tenaient dans une pièce affectant la forme d'un carré de 30 pieds de côté, la plupart des juges et des assistants périrent asphyxiés ; ceux qui survécurent étaient près d'une fenêtre ouverte.

En 1756, au mois de juin, 145 prisonniers de guerre, aux Indes, furent enfermés dans une salle carrée de 20 pieds de côté. Au bout de douze heures, 23 seulement étaient encore vivants.

Les substances organiques, dit Béclard, concourent pour leur part à déterminer les accidents qui surviennent. Il a été constaté, en effet, rapporte-t-il, que les individus qui ont survécu dans les deux cas précédemment cités « ont pour la plupart été pris de fièvres graves, ce qui généralement n'a pas lieu chez les personnes asphyxiées par l'acide carbonique produit par la combustion du charbon et qu'on parvient à rappeler à la vie. »

Des expériences concluantes ne laissent du reste aucun doute à cet égard. Il suffit de citer la suivante due à Gavarret.

Un petit animal fut enfermé dans un espace bien clos. Des dispositions avaient été prises pour remplacer à chaque instant l'oxygène consommé par la respiration et enlever l'acide carbonique produit. L'animal, sans avoir jamais manqué d'oxygène, sans avoir été jamais soumis à l'action délétère de l'acide carbonique, mourut sous l'influence des miasmes qu'il avait dégagés dans l'atmosphère qui l'entourait.

Tous ces faits montrent que l'air des agglomérations nombreuses d'êtres humains est vicié. D'après Dumas, il contient, en outre de l'acide carbonique, des ammoniaques composées de nature dangereuse, des acides divers et, entre

autres, celui qui donne une odeur toute spéciale aux oiseaux.

Cet air est un composé très complexe qui exerce sur la santé des effets d'autant plus regrettables qu'il agit sur des individus plus jeunes ; les adultes sont moins éprouvés que les adolescents, qui eux-mêmes résistent mieux que les enfants en bas-âge. On peut donc dire que les exigences de la ventilation croissent en raison inverse de l'âge des individus qui se trouvent réunis dans les lieux qu'il s'agit d'aérer.

Aux causes de viciation inhérentes à la respiration, il faut ajouter le fonctionnement des appareils de chauffage et d'éclairage qui donne lieu à un dégagement de gaz nuisibles en quantités plus ou moins grandes.

La nécessité du renouvellement de l'air dans les lieux habités ne saurait donc être contestée. Ce renouvellement est le but de la *ventilation*, qui doit avoir pour effet l'évacuation de l'air vicié et son remplacement par de l'air pur, de manière à maintenir la composition de l'atmosphère de l'enceinte sensiblement la même que celle de l'air extérieur.

Mais, si tout le monde reconnaît la nécessité du renouvellement de l'air dans un lieu habité, les opinions sont très différentes aussi bien sur le volume à introduire pour assurer une ventilation vraiment efficace que sur les meilleurs moyens à employer pour produire le renouvellement de l'air. Avant de passer en revue les divers systèmes proposés et les diverses opinions émises, il convient d'abord d'étudier les causes de la viciation de l'air dans une enceinte habitée.

CAUSES DE LA VICIATION DE L'ATMOSPHÈRE D'UNE ENCEINTE HABITÉE.

1174. Influence de la respiration. — Une des principales causes de la viciation de l'air dans un lieu habité est la respiration, qui donne lieu à un dégagement d'acide carbonique et de vapeur d'eau, provenant de la combustion du carbone et de l'hydrogène des tissus de l'organisme humain.

L'air atmosphérique normal se compose d'oxygène et d'azote dans les proportions suivantes :

	En poids.	En volume.
Oxygène	0,23	0,208
Azote	0,77	0,792

Cette composition est sensiblement la même sur toute la surface de la terre.

L'air atmosphérique contient en outre de l'acide carbonique en proportions variables, de 2 à 3/10000es en volume, soit 20 à 30 litres par 100 mètres cubes.

Il renferme aussi de la vapeur d'eau en quantité très variable suivant la température et le degré de saturation.

Le degré hygrométrique peut varier de 40° à 95° et, lorsque la température s'élève à 32° et au delà, chaque mètre cube d'air peut contenir jusqu'à 30 grammes et davantage de vapeur d'eau.

Enfin, on trouve dans l'air, mais en quantités excessivement faibles, des gaz sulfureux, sulfhydrique, ammoniac, azotique, etc., et des poussières de toute espèce dans lesquelles on rencontre de nombreux microbes.

A chaque mouvement respiratoire, l'homme introduit dans ses poumons environ un demi-litre d'air; par une aspiration forcée il peut en introduire bien davantage.

Le nombre moyen de mouvements respiratoires par minute étant de 16 à 18 environ, il en résulte qu'en moyenne un homme fait pénétrer dans ses poumons, en une heure, pour les besoins de la respiration :

$$0^{l},5 \times 17 \times 60 = 510 \text{ lit.}$$

Soit, en nombre rond, 500 litres d'air par heure, qui renferment :

$$0,208 \times 500 = 104 \text{ litres d'oxygène ;}$$

mais une portion seulement de cet oxygène est transformée dans l'acte de la respiration; la plus grande partie ressort non altérée, pendant l'expiration.

Par conséquent, si on pouvait séparer complètement l'air exhalé de l'air inspiré, il suffirait, pour satisfaire aux besoins de la respiration, d'une alimentation de $0^{m^3},500$ par heure et

par adulte; en pratique, il est impossible d'effectuer cette séparation et l'air exhalé se mêle plus ou moins à l'atmosphère ambiante. C'est donc ce mélange qu'on doit chercher à toujours maintenir dans un état suffisant de pureté, et, pour cela, il faut une ventilation bien plus abondante qu'il n'était nécessaire dans l'hypothèse précédente.

La partie de l'oxygène inspiré qui se combine dans le corps, avec du carbone et de l'hydrogène, pour former de l'acide carbonique et de l'eau, varie dans d'assez grandes limites suivant les circonstances, le tempérament, l'âge et le sexe des individus.

On doit à Lavoisier des expériences très intéressantes sur ce sujet. Voici les résultats qu'il a obtenus :

Un homme adulte consomme par heure en oxygène :

	Volume.	Poids.
En repos à jeun à une température de 32°,5	24^{lit},002	34^{gr},490
En repos à jeun à 15°	26 ,660	38 ,310
En repos pendant la digestion	37 ,689	54 ,159
A jeun, effectuant un travail de 1^{kgm},72 par 1″	63 ,477	91 ,226
Pendant la digestion, effectuant un travail de 1^{kgm},72 par 1″	91 ,248	131 ,123

Des expériences plus récentes montrent, comme celles de Lavoisier, l'influence considérable qu'exercent sur la respiration du même individu les circonstances dans lesquelles il se trouve placé. La quantité d'oxygène consommé varie presque du simple au quadruple.

Andral et Gavarret ont déterminé l'influence de l'âge. Ils ont trouvé que, pour des hommes d'une constitution ordinaire, le poids de carbone brûlé était en moyenne, par heure :

Age	8 ans.	15	16 1/2	28	50	59	68	102
Carbone brûlé	5 gr.	8,7	10,2	12,4	10,7	10	9,6	5,9

Le maximum de consommation de carbone a lieu de vingt-cinq à trente ans. Les enfants de huit à douze ans ne brûlent que la moitié environ du carbone nécessaire à un adulte.

Andral et Gavarret ont trouvé que le poids de carbone brûlé par une femme de dix à trente ans était en moyenne de $6^{gr},4$. Pour un individu endormi, la proportion d'acide carbonique produit diminue dans le rapport de 5 à 6 environ d'après Scharling (Béclard).

Les résultats obtenus par Dumas, Barral, Regnault, etc.. s'écartent en général assez peu de ceux que nous venons de donner. Les différences s'expliquent facilement par la variété des âges, des tempéraments, etc., et, en général, des conditions dans lesquelles on a opéré.

L'air expiré par un homme adulte en repos renferme en moyenne, d'après de nombreuses expériences, en volumes :

Oxygène.....	0,1600
Acide carbonique.....	0,0425

En prenant la moyenne des nombres correspondant à seize ans et demi et vingt-huit ans, on trouve qu'un homme consomme environ $11^{gr},3$ de carbone par heure, ce qui correspond sensiblement à 20,4 litres d'acide carbonique mesurés à 0° et à 760 millimètres. A ce chiffre il y aurait lieu d'ajouter celui qui correspond à l'acide carbonique fourni par la respiration cutanée ; mais cette quantité est toujours assez faible et on la néglige généralement.

Dans les calculs qui suivront, nous admettrons qu'un homme adulte produit, dans les conditions ordinaires, 21 litres d'acide carbonique en une heure.

La respiration donne également lieu à une production de vapeur d'eau ; l'air qui sort des poumons à 37° est, en effet, toujours saturé ; il contient donc $43^{gr},51$ de vapeur d'eau par mètre cube ; et, comme nous avons admis qu'un homme inspirait puis expirait environ 500 litres d'air supposé sec par heure, l'émission de vapeur d'eau correspondante est de $21^{gr},75$.

1175. Influence de la transpiration. — Pour avoir la quantité totale de vapeur d'eau produite par le corps, il faut tenir compte de celle qui est dégagée par la peau. Cette quantité

est très variable suivant les circonstances atmosphériques, la température de l'air, son degré de saturation, suivant la constitution des personnes, l'état de repos ou de travail; aussi, n'y a-t-il pas lieu de s'étonner si les chiffres obtenus par les divers expérimentateurs sont peu concordants. On a trouvé que la quantité totale de vapeur d'eau exhalée par le corps (respiration et transpiration) était comprise entre 45 grammes et 77 grammes par heure. Le nombre moyen fourni par les expériences est de 62 grammes. Comme, d'après ce que nous avons vu, la respiration fournit $21^{gr},75$, la transpiration cutanée doit produire la différence soit $40^{gr},25$, environ le double. Cette production peut s'élever jusqu'à 56 grammes.

En nombres ronds, on peut admettre que l'homme exhale en moyenne $1^{k},500$ de vapeur d'eau par vingt-quatre heures dont $0^{k},500$ par le poumon et $1^{k},000$ par la peau.

1176. Influence des appareils d'éclairage. — Les appareils d'éclairage contribuent également à vicier l'air, puisqu'ils absorbent de l'oxygène et dégagent de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau.

Une bougie, brûlant 10 à 12 grammes à l'heure, produit à peu près la même quantité d'acide carbonique et de vapeur d'eau qu'un homme adulte.

Une lampe (gros bec), brûlant 40 à 45 grammes d'huile, absorbe autant d'oxygène que quatre personnes.

Enfin un bec de gaz brûlant 100 litres absorbe 6 fois autant d'oxygène qu'un adulte.

1177. Volume d'air nécessaire à la ventilation. — Pour que l'air d'une enceinte habitée se trouve dans des conditions convenables de salubrité, il faut que les divers produits exhalés par le corps, c'est-à-dire l'acide carbonique, la vapeur d'eau et les matières organiques ne dépassent pas une certaine proportion limite; cette condition permet d'apprécier jusqu'à un certain point le volume d'air nécessaire à la ventilation. Comme nous le verrons plus loin, ce volume peut être d'autant plus réduit que les précautions sont mieux prises pour que l'air neuf introduit arrive jusqu'aux individus, aussi peu mélangé

que possible avec les produits viciés provenant des sources diverses que nous avons indiquées.

1178. Proportion limite d'acide carbonique admissible dans une enceinte habitée. — Les expériences de Leblanc ont montré que, lorsque la proportion d'acide carbonique, provenant de la respiration, atteignait huit millièmes (0,008), l'air devenait lourd et pénible à respirer. D'autres expérimentateurs ont constaté le même effet pour des proportions moindres. D'après M. Pettenkofer, l'air est irrespirable lorsqu'il contient un centième (0,01) d'acide carbonique provenant de la respiration.

Dans les salles d'hôpitaux, où l'occupation est permanente, les hygiénistes admettent généralement qu'une proportion totale d'acide carbonique supérieure à un millième est nuisible aux malades et que le renouvellement d'air doit toujours être suffisant pour que cette limite de viciation ne soit jamais dépassée. Il convient, d'ailleurs, de faire ouvrir les fenêtres chaque jour, matin et soir, pendant un certain temps, afin de balayer par un courant d'air pur toute la capacité des salles.

Quand le local habité est occupé d'une manière intermittente, son espace cubique influe naturellement sur la rapidité de l'altération de l'air. Cet espace constituant une réserve d'air pur, on peut diminuer dans une certaine proportion le volume d'air à introduire régulièrement.

Dans une enceinte occupée temporairement, la proportion d'acide carbonique en volume peut arriver à atteindre 0,0015 à 0,0020 sans gêner sensiblement les occupants. Il convient dans ce cas de prendre la précaution d'ouvrir les fenêtres avant et après l'occupation.

1179. Proportion d'acide carbonique dans l'atmosphère d'une enceinte habitée après un temps d'occupation donné. — Considérons le cas général d'une enceinte habitée, occupée d'une manière intermittente.

Soient : E l'espace cubique par personne, c'est-à-dire le rapport du cube total de l'enceinte au nombre de personnes qui l'occupent ; Z le temps compté en heures depuis que l'enceinte est

occupée; m la proportion en volume d'acide carbonique à ce moment; V le volume d'air introduit par personne et par heure.

Désignons d'une manière générale par m_0 la proportion en volume d'acide carbonique qui se trouve dans l'air extérieur (environ 0,0003) et par a le volume de ce gaz produit par personne et par heure ($0^{mc},021$ environ).

Dans le temps infiniment petit dZ, le volume d'acide carbonique introduit dans l'enceinte avec l'air extérieur est $m_0 V dZ$, le volume qui en sort est $mVdZ$ et le volume qui y est produit par personne est adz; la proportion d'acide carbonique augmentant de dm, l'accroissement de la quantité de ce gaz contenue dans l'enceinte est Edm, et on a la relation :

$$(m_0 V + a - mV)dZ = Edm \qquad (1)$$

d'où

$$\frac{Edm}{a + (m_0 - m)V} = dZ$$

et, en intégrant depuis la proportion m_1 à l'origine du temps jusqu'à celle m_2 à la fin,

$$\frac{E}{V} \log. \text{nep.} \frac{(m_0 - m_1)V + a}{(m_0 - m_2)V + a} = Z$$

qu'on peut mettre sous la forme

$$\frac{(m_0 - m_1)V + a}{(m_0 - m_2)V + a} = e^{\frac{VZ}{E}} \qquad (2)$$

e étant la base des logarithmes népériens

$$e = 2,71828$$

Si on prend l'intégrale depuis l'origine de l'occupation de l'enceinte, $m_1 = m_0$ et la formule devient, en désignant par m la viciation à un moment donné :

$$\frac{a}{(m_0 - m)V + a} = e^{\frac{VZ}{E}} \qquad (3)$$

En posant $\frac{V}{E} = n$ et effectuant les tranformations, il vient :

$$m = m_0 + \frac{a}{V}\left(1 - \frac{1}{e^{nZ}}\right). \qquad (4)$$

1180. Lorsqu'on connaît la proportion m_1 initiale d'acide carbonique dans une enceinte, les relations précédentes permettent de résoudre les problèmes suivants :

1° *Déterminer le temps* Z *au bout duquel la proportion d'acide carbonique dans l'enceinte, supposée d'abord égale à* m_1, *sera devenue* m_2 *pour un espace cubique connu* E *et une ventilation* V.

Soient :

$$m_1 = 0{,}0010 \qquad m_2 = 0{,}0020 \qquad E = 8^{m^3} \qquad V = 10^{m^3} \qquad m_0 = 0{,}0003$$
$$a = 0{,}021.$$

La relation :

$$\frac{E}{V}\log.\text{nép.}\frac{(m_0 - m_1)V + a}{(m_0 - m_2)V + a} = Z$$

devient :

$$Z = \frac{8}{10}\log.\text{nép.}\frac{0{,}021 - 0{,}007}{0{,}021 - 0{,}017} = 0{,}8\log.\text{nép.}3{,}5$$
$$Z = 0{,}8 \times 2{,}3026\log.3{,}5$$
$$0{,}8 \times 2{,}3026 \times 0{,}54407 = 1^{H}0'8''.$$

2° *Déterminer l'espace cubique* E *pour ne pas dépasser la proportion* m_2 *au bout d'un temps déterminé* Z *avec une ventilation* V.

Soient :

$$m_0 = 0{,}0003 \qquad m_1 = 0{,}0010 \qquad m_2 = 0{,}0020 \qquad Z = 2^{h} \qquad V = 10^{m^3}.$$
$$a = 0{,}021$$

De la relation :

$$\frac{E}{V}\log.\text{nép.}\frac{(m_0 - m_1)V + a}{(m_0 - m_2)V + a} = Z$$

on tire

$$E = \frac{10 \times 2}{\log.\text{nép.}\dfrac{0{,}021 - 0{,}007}{0{,}021 - 0{,}017}}$$
$$= \frac{20}{2{,}3026\log 3{,}5}$$
$$= \frac{20}{2{,}3026 \times 0{,}54407} = 16^{m^3}.$$

3° *Calculer la proportion m_2 d'acide carbonique qui se trouve dans une enceinte après un temps d'occupation* Z.

Soient :

$$m_0 = 0{,}0003 \quad m_1 = 0{,}0010 \quad E = 8m^3 \quad V = 16m^3 \quad Z = 2^h \quad \frac{V}{E} = 2.$$
$$a = 0{,}021$$

On aura en remplaçant dans la formule les lettres par leur valeur :

$$\frac{0{,}021 - 16(0{,}0010 - 0{,}0003)}{0{,}021 - 16m_2 + 16 \times 0{,}0003} = e^4 = 54{,}5969$$

$$m_2 = \frac{54{,}5969 \times 0{,}0258 + 0{,}0098}{16 \times 54{,}5969} = 0{,}0016.$$

4° *Déterminer la ventilation* V *nécessaire pour que, l'espace*

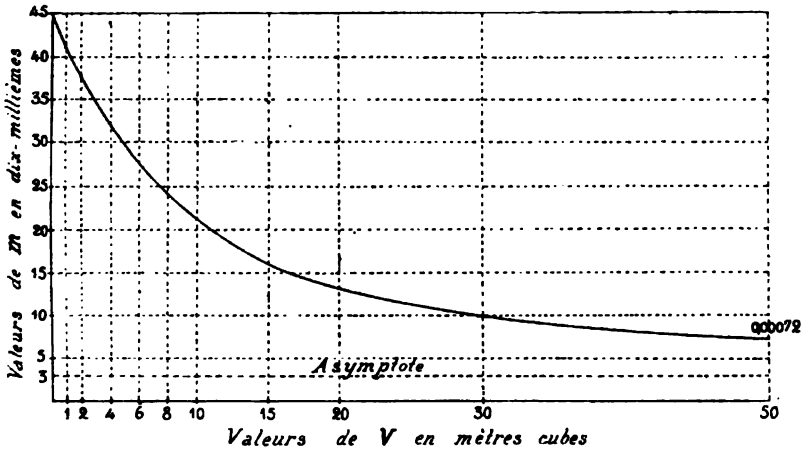


Fig. 658.

cubique étant donné, la proportion d'acide carbonique ne dépasse pas une quantité m au bout d'un temps d'occupation Z.

Données :

$$m_0 = m_1 = 0{,}0003 \quad m = 0{,}0020$$
$$E = 10m^3 \quad Z = 2^h \quad a = 0{,}021$$

Pour résoudre algébriquement la question, il faudrait opérer par approximations successives ; il est plus simple de recourir à la méthode graphique (fig. 658).

On prend m comme variable auxiliaire et on calcule, à l'aide de l'équation (3), le coefficient de viciation au bout du temps Z pour un certain nombre de valeurs de V.

En portant les valeurs de V en abscisses et celles de m en ordonnées, on détermine une série de points par lesquels on fait passer une courbe à l'aide de laquelle il devient facile de connaître, dans le cas choisi, le volume d'air de ventilation correspondant à une viciation indiquée.

L'inspection de la courbe tracée montre qu'il faut une ventilation d'environ 12 mètres cubes par heure pour que la viciation après deux heures d'occupation atteigne 0,0020.

La limite inférieure de la viciation s'obtient en faisant $V=\infty$ dans l'équation (2) qu'on peut écrire sous la forme :

$$\frac{1}{e^{\frac{VZ}{E}}}\left(m_0 - m_1 + \frac{a}{V}\right) = m_0 - m_2 + \frac{a}{V}$$

d'où l'on déduit $m_0 - m_2 = 0$. La ligne horizontale correspondant à la viciation normale de 0,0003 est asymptote à la courbe.

Le maximum de la viciation s'obtiendra en supposant que $V=0$, et en cherchant la valeur de m qui satisfait à l'équation différentielle (1)

$$(m_0 V + a - mV)dZ = E dm.$$

Pour $\qquad V=0 \qquad adZ = Edm$

ou, en intégrant, $aZ = E\,(m - m_0)$

$$m = m_0 + \frac{aZ}{E}. \qquad (5)$$

En nous reportant aux données du problème

$$m_0 = 0{,}0003 \qquad a = 0{,}021 \qquad Z = 2^h \qquad E = 10^{m^3}$$

on trouve :

$$m = 0{,}0003 + \frac{0{,}021 \times 2}{10} = 0{,}0045.$$

Si l'occupation est permanente, comme dans un hôpital, il faut, dans la formule (4), faire $Z=\infty$ et on trouve :

$$m=m_0+\frac{a}{V}$$

d'où

$$V=\frac{a}{m-m_0}.$$

V est le volume d'air nécessaire pour que, quel que soit l'espace cubique, la proportion en volume d'acide carbonique reste égale à m.

En prenant $m_0=0,0003$ et $a=0,021$ (pour des adultes) on trouve, suivant la limite qu'on se fixe pour m, les valeurs suivantes de V

m	V
0,00075	$46^{m^3},6$
0,0010	30
0,0015	17 ,5
0,0020	12 ,3
0,0025	9 ,5

Ainsi, dans l'hypothèse de l'occupation continue, l'espace cubique n'a plus d'influence, il faut toujours fournir 30 mètres cubes par heure et par personne si l'on veut que l'accroissement de la viciation $m-m_0$ ne dépasse pas 0,0007 en volume. (Ce qui correspond à une viciation totale de 0,001.)

Les médecins ont souvent l'habitude de faire ouvrir en grand, une ou plusieurs fois par jour, les portes et les fenêtres des salles occupées par des malades afin de renouveler complètement l'air de ces salles. Dans ces conditions, comme la viciation limite n'est atteinte qu'après plusieurs heures lorsque l'espace cubique atteint de 50 à 100 mètres cubes par lit, on peut, avec une ventilation de 40 à 50 mètres cubes par personne, conserver une atmosphère dont le coefficient de viciation reste toujours au-dessous du maximum admis.

1181. En faisant varier l'espace cubique et la durée d'occupation, on peut dresser un tableau des diverses valeurs de m et, en construisant les tracés graphiques correspondants, former

une série de courbes (fig. 659) qui se rapportent aux cas les plus usuels qu'on rencontre dans la pratique.

Proportion d'acide carbonique dans une enceinte occupée temporairement et ventilée à raison de 15m³ par heure et par personne, suivant l'espace cubique et la durée du séjour.

$$m = m_0 + \frac{a}{V}\left(1 - \frac{1}{e^{nz}}\right). \qquad m_0 = 0{,}0003 \quad a = 0{,}021$$

ESPACES CUBIQUES. E	VALEURS DE Z. 5′	10′	20′	30′	1H	2H	4H
	VALEURS DE m.						
5m³	0,00061	0,00085	0,00118	0,00139	0,00163	0,001696	0,00170
10	0,00046	0,00061	0,00085	0,00104	0,00139	0,00163	0,001696
20	0,00038	0,00046	0,00061	0,00074	0,00104	0,00139	0,00163
40	0,00034	0,00038	0,00046	0,00054	0,00074	0,00104	0,00139
60	0,00033	0,00036	0,00041	0,00046	0,00061	0,00085	0,00118
80	0,00032	0,00034	0,00038	0,00042	0,00054	0,00074	0,00104
100	0,000317	0,000334	0,00037	0,00040	0,00050	0,00066	0,00093

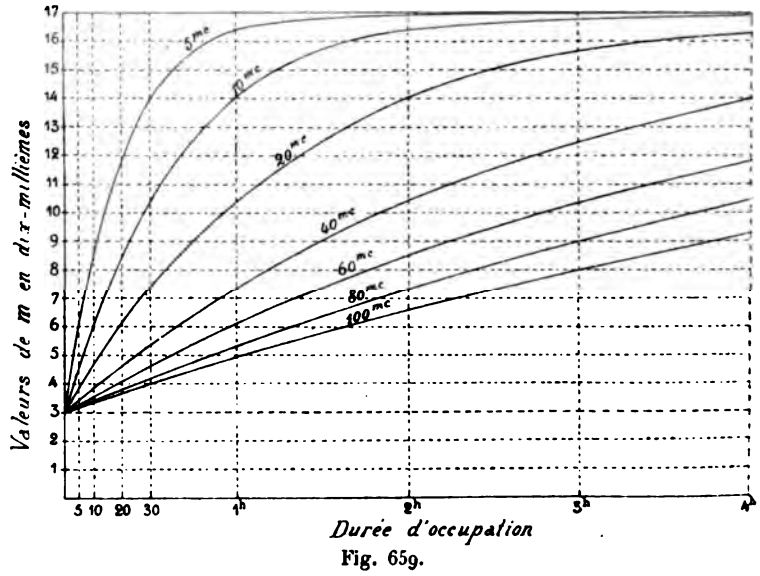


Fig. 659.

1182. On voit à l'inspection du tableau (page 662) que, pour une ventilation de 15 mètres cubes par personne et par heure, l'accroissement de la viciation $m - m_0 = 0,0005$ sera obtenu en moins de dix minutes d'occupation, si l'espace cubique est de 5 mètres cubes et en moins de vingt minutes pour une capacité cubique de 10 mètres cubes. Il faudra un peu plus de trente minutes pour une capacité de 20 mètres cubes et environ trois heures pour 100 mètres cubes.

Dans les salles d'assemblée, de réunion, les théâtres, les classes, l'espace cubique peut varier de 5 à 10 mètres cubes, et, si on admet une ventilation de 15 mètres cubes par heure et par personne, le tableau montre qu'après deux heures d'occupation la différence des viciations correspondant respectivement à 5 et 10 mètres d'espace cubique sera moindre que sept cent millièmes.

Lorsque, dans une salle présentant un faible espace cubique, défini comme nous l'avons dit, on entretient une abondante ventilation, l'influence de l'espace cubique s'efface au bout de quelques instants d'occupation.

Ainsi, dans une note publiée dans la *Revue d'hygiène*, M. Ch. Herscher a montré que, si l'on ventile une enceinte à raison de 60 mètres cubes par heure et par personne, la viciation, après moins d'une heure d'occupation, est sensiblement la même, que l'espace cubique soit 4 ou 10 ou 20 mètres cubes. Lorsque la capacité cubique est 4, la limite de la viciation est presque atteinte après un quart d'heure d'occupation et, lorsque la capacité cubique est 10, il faut de vingt-cinq à trente minutes. Ces chiffres sont établis en supposant, comme l'a fait M. le Dr Layet, que le volume des gaz viciés fourni par chaque individu est de 30 litres par heure.

Une ventilation de 40 mètres cubes donnerait les mêmes effets si on admet que chaque individu exhale par heure 20 litres d'acide carbonique.

Ainsi donc, avec une ventilation largement assurée, l'influence de l'espace cubique sur la viciation, au bout d'un temps donné, même assez court, est presque négligeable, mais il n'en est plus

du tout de même lorsque la ventilation est peu abondante, et qu'on peut donner à l'espace cubique des valeurs considérables.

Si, dans une enceinte, il n'y avait aucun renouvellement d'air, aucune ventilation, il faudrait appliquer la relation (5)

$$m = m_0 + \frac{aZ}{E}$$

On peut dresser, au moyen de cette formule, le tableau suivant, qui donne la proportion d'acide carbonique dans une enceinte au bout d'un temps déterminé. On a pris pour le former

$$m_1 = m_0 = 0{,}0003 \qquad a = 0{,}021$$

$$m = m_0 + \frac{a}{E}Z = 0{,}0003 + \frac{0{,}021}{E}Z$$

Proportion d'acide carbonique dans une enceinte non ventilée, suivant l'espace cubique par personne et la durée du séjour.

ESPACES CUBIQUES. E	VALEURS DE Z. 5′	10′	20′	30′	1H	2H	4H
	VALEURS DE m.						
5m3	0,00065	0,00100	0,0017	0,0024	0,0045	0,0087	0,0171
10	0,000475	0,00065	0,0010	0,00135	0,0024	0,0045	0,0087
20	0,000388	0,000475	0,00065	0,000825	0,00135	0,0024	0,0045
40	0,000344	0,000388	0,000475	0,000563	0,00082	0,0013	0,0024
60	0,000329	0,000358	0,000417	0,000475	0,00065	0,0010	0,0017
80	0,000322	0,000344	0,000388	0,000431	0,00056	0,00082	0,00135
100	0,000317	0,000335	0,000370	0,000405	0,00051	0,00072	0,00114

L'examen de ce tableau montre combien avec les espaces cubiques ordinaires (5 à 10m3), il est nécessaire d'assurer une ventilation continue dans les locaux d'habitation.

1183. État hygrométrique de l'air dans une enceinte habitée. — Pour que l'air d'une enceinte habitée se trouve dans des conditions satisfaisantes, il est indispensable que l'état hygrométrique reste compris dans certaines limites. L'exhalation de l'eau est, en effet, une des fonctions les plus

importantes de la vie, et, pour qu'elle puisse s'accomplir normalement, il faut que l'air ne soit pas trop humide. Par contre, si l'air est trop sec, la respiration est gênée, la gorge se dessèche et les bronches s'irritent.

« En été, dit Béclard, lorsque tout à coup, sous l'influence d'un orage, l'air devient très humide, bien que la température ne s'élève pas sensiblement, l'homme éprouve une sensation insupportable d'accablement et de chaleur due en très grande partie à la diminution des évaporations pulmonaires et cutanées. »

Ajoutons que, pour absorber la même quantité d'oxygène, on doit faire passer dans les poumons un volume d'autant plus grand que l'air est plus saturé et qu'il doit en résulter une certaine fatigue.

Les physiologistes ne sont pas d'accord sur la quantité de vapeur d'eau que doit contenir l'air d'une enceinte habitée.

Dans l'atmosphère, l'état hygrométrique est très variable; ainsi à l'observatoire de Montsouris où l'on fait, pour chaque mois, la moyenne de l'état hygrométrique, on a trouvé de 1872 à 1881 des résultats compris entre 43,9 et 89,2.

Cependant on peut dire qu'un mètre cube d'air atmosphérique contient en moyenne $4^{gr},5$ de vapeur d'eau pendant la saison froide et $11^{gr},5$ pendant les jours chauds.

Le poids γ de vapeur d'eau que peut dissoudre un poids P d'air sec est donné par la formule :

$$\gamma = 0,622 \frac{KF}{H - KF} P \text{ (1)}.$$

(1) Soient : q le volume occupé par le mélange d'air et de vapeur à la pression H ; F la tension de saturation de la vapeur à la température t ; K l'état hygrométrique ; la tension de la vapeur d'eau dans le mélange est KF et, par conséquent, celle de l'air est H — KF. On aura, pour le poids de l'air sec contenu dans ce mélange :

$$P = 1,293q \frac{H - KF}{H} \frac{1}{1 + \alpha t}$$

et pour les poids de vapeur :

$$\gamma = 0,622 \times 1,293q \frac{KF}{H} \frac{1}{1 + \alpha t}$$

d'où

$$\gamma = 0,622 \frac{KF}{H - KF} P.$$

F étant la tension maxima correspondant à la température t de l'air;

K l'état hygrométrique;

H la pression de l'atmosphère.

Quand la température ne dépasse pas 25°, KF est toujours négligeable à côté de H et on a simplement :

$$\gamma = 0{,}622 \frac{KF}{H} \times P.$$

Soient : V un volume d'air pris à 0° à la pression de 0,76; F la tension maxima de la vapeur d'eau à cette température; K l'état hygrométrique. Le poids d'air sec contenu dans le volume V est

$$P = 1{,}293 \frac{H - KF}{H} V$$

ou, en négligeant KF,

$$P = 1{,}293V \quad \text{d'où} \quad \gamma = 1{,}058 \times KFV.$$

Voyons quelle quantité de vapeur dissoudra un volume V d'air sec, en passant de l'état hygrométrique K_0 et de la température t_0 à l'état hygrométrique K_1 et à la température t_1. Si l'on désigne par F_0 et F_1 les tensions maxima de la vapeur d'eau aux températures t_0 et t_1, on aura

$$\gamma = \gamma_1 - \gamma_0 = 1{,}058(K_1F_1 - K_0F_0)V.$$

1184. Déterminons, d'après cela, quel volume d'air neuf il convient d'introduire dans un local pour absorber complètement la vapeur d'eau produite par les actes combinés de la respiration et de la transpiration.

Examinons divers cas particuliers :

En été, la température est sensiblement la même à l'intérieur et à l'extérieur $F_1 = F_0$ et la vapeur d'eau en se dissolvant détermine un accroissement du degré hygrométrique.

Soient :

$$t_1 = t_0 = 15° \qquad F_1 = F_0 = 0{,}0127 \qquad K_0 = 0{,}60 \qquad K_1 = 0{,}85.$$

Le volume d'air mesuré à 0° nécessaire pour dissoudre le

poids $0^k,062$ de vapeur d'eau dégagé en moyenne par le corps humain, est donné par la relation

$$0,062 = 1,058 \times 0,0127(0,85 - 0,60)V$$

d'où

$$V = 18^{m^3},5.$$

Si l'état hygrométrique final était $K_0 = 0,70$, il faudrait $V = 46$ mètres cubes.

En hiver, la température intérieure est supérieure à celle de l'atmosphère et la dissolution de la vapeur d'eau peut se faire sans que le degré hygrométrique change.

Supposons : $t_1 = 15°$, $t_0 = 5°$, on a $F_1 = 0,0127$, $F_0 = 0,0065$; pour que le degré hygrométrique reste le même à l'intérieur et à l'extérieur et égal à $0,80 = K_1 = K_0$, il suffira que le volume V de l'air de ventilation soit tel que

$$0,062 = 1,058 \times 0,8(0,0127 - 0,0065)V$$

d'où

$$V = 12^{m^3}.$$

Ainsi, plus la température d'une enceinte est élevée par rapport à celle de l'atmosphère extérieure, moins il faut d'air pour dissoudre la vapeur d'eau produite à la fois par la respiration et par la transpiration.

Il peut même arriver que l'air devienne trop sec.

Admettons, en effet, que la ventilation s'opère à raison de 20 mètres cubes par personne ($V = 20$).

Soient :

$$t_1 = 17° \qquad t_0 = -5° \qquad K_0 = 0,8.$$

On trouve dans les tables :

$$F_1 = 0,0144 \qquad F_0 = 0,0030.$$

Posons-nous la condition que le degré hygrométrique K_1 à l'intérieur ne descende pas au-dessous de 0,60. La quantité γ de vapeur qui devra être dissoute sera donnée par la formule suivante :

$$\gamma = 1,058(0,60 \times 0,0144 - 0,8 \times 0,0030)20^{m^3} = 0,1315.$$

Si la respiration et la transpiration fournissent seulement $0^k,062$, on voit que, pour empêcher le degré hygrométrique de s'abaisser au-dessous de 0,60, il faudra fournir d'une autre manière une quantité de vapeur d'eau égale à la différence

$$0,1315 - 0.062 = 0^k,0695$$

soit 70 grammes par personne et par heure. On arrive à ce résultat, en plaçant des vases pleins d'eau sur les poêles ou dans les chambres de chaleur des calorifères.

Si le volume de l'air de ventilation était double, il faudrait introduire

$$2 \times 0,1315 - 0,062 = 0^k,201.$$

En Russie, où les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur sont souvent considérables, des maladies spéciales s'étaient déclarées dans les hôpitaux, par suite de la trop grande sécheresse de l'air; on a pu les faire disparaître en augmentant le degré hygrométrique de l'atmosphère des salles de malades.

1185. Hygromètre. — Cet appareil a pour but de déterminer à tout instant l'état hygrométrique de l'air.

Le degré hygrométrique d'un volume d'air donné n'est pas représenté par la tension absolue de la vapeur d'eau, mais par le rapport entre cette tension et la tension maxima, à la même température, ou, en appliquant la loi de Mariotte, par le rapport entre le poids de vapeur d'eau dissous dans un volume d'air, et le poids que ce volume renfermerait s'il était saturé.

Ce rapport, qu'on désigne souvent sous le nom de *fraction de saturation*, représente l'état hygrométrique de l'air au moment considéré. Il résulte de ce qui précède que, dans l'air absolument sec, la fraction de saturation est nulle, et qu'elle est égale à l'unité lorsque l'air est saturé de vapeur d'eau.

Un des hygromètres les plus connus est celui à cheveu, imaginé par de Saussure, et dont l'aiguille se déplace sur un arc gradué divisé en cent parties égales, qu'on appelle les degrés de l'hygromètre.

Pour se servir de l'instrument, il faut avoir une table qui

donne l'état hygrométrique correspondant à chacun des degrés, car lorsque l'aiguille marque 50°, il s'en faut que l'état hygrométrique soit égal à 0,5.

Gay-Lussac a construit une table donnant, pour une température de +10°, les fractions de saturation correspondant aux degrés de l'hygromètre.

DEGRÉS DE L'HYGROMÈTRE.	ÉTAT HYGROMÉTRIQUE. $\frac{KF}{F}$	DEGRÉS DE L'HYGROMÈTRE.	ÉTAT HYGROMÉTRIQUE. $\frac{KF}{F}$
0	0,0000	60	0,3628
5	0,0225	65	0,4142
10	0,0457	70	0,4719
15	0,0696	72	0,4982
20	0,0945	75	0,5376
25	0,1205	80	0,6122
30	0,1478	83	0,6624
35	0,1768	85	0,6959
40	0,2078	88	0,7529
45	0,2413	90	0,7909
50	0,2779	95	0,8906
55	0,3176	100	1,0000

MM. Richard frères construisent un hygromètre enregistreur, dans lequel ils utilisent les déformations que l'humidité atmosphérique fait subir à une petite plaque en corne légèrement cintrée. Un mouvement d'horlogerie fait tourner un cylindre recouvert d'une feuille de papier, sur laquelle un crayon inscrit à chaque instant le degré hygrométrique de l'air.

Lorsqu'on a besoin de connaître le degré hygrométrique avec plus de précision, on dose alors par l'analyse chimique la quantité de vapeur d'eau renfermée dans l'air, ou bien on se sert du psychromètre ou mieux de l'hygromètre à condensation, perfectionné par Regnault, et avec lequel on peut obtenir des résultats très précis. Nous renvoyons aux ouvrages spéciaux de physique pour l'étude de ces divers appareils.

1186. Influence des matières organiques produites

par la respiration et la transpiration. — La viciation de l'air d'une enceinte habitée est en grande partie, et même surtout, due aux matières organiques éliminées dans les actes de la respiration et de la transpiration. On ne connaît pas d'une manière assez précise l'action de ces matières sur l'économie pour qu'il soit possible de déterminer, par le calcul, dans quel volume d'air elles doivent être diluées pour cesser d'être nuisibles. D'ailleurs, les réactifs chimiques ne permettent guère d'évaluer leur proportion dans une atmosphère souillée par les produits de la respiration.

Le microscope, les faisceaux lumineux donnent bien quelques indications à ce sujet; mais, jusqu'à présent, c'est surtout l'odorat qui nous révèle leur présence et, jusqu'à un certain point, nous permet d'estimer leur abondance.

On voit combien est vague et incertain ce moyen d'évaluation; les appréciations de cette nature étant souvent tout à fait différentes suivant les personnes.

Cependant, d'une manière générale, toutes les fois que l'odeur caractéristique des matières organiques se manifeste d'une manière prononcée dans un lieu habité, on doit en conclure que la ventilation est insuffisante.

1187. Conclusion. — En résumé, on voit, d'après ce qui précède, qu'on ne saurait fixer d'une manière précise le volume d'air nécessaire à la ventilation dans des circonstances déterminées. On ne connaît exactement ni la proportion d'acide carbonique qu'il ne faut pas dépasser, ni le meilleur degré hygrométrique qu'il convient de conserver et on ne sait pas doser les matières organiques qui sont une des causes les plus actives de la viciation de l'air.

Pour apprécier l'efficacité de la ventilation effectuée dans un local donné, on en est réduit, le plus souvent, à s'en rapporter à des impressions personnelles.

Il en est de la ventilation comme de la température. Certaines personnes se trouvent à l'aise dans une atmosphère qui fait éprouver à d'autres un sentiment d'oppression et de manque d'air, et la même personne peut, à des moments différents.

ressentir, dans des conditions identiques de ventilation, des impressions tout à fait opposées. Ainsi, pendant la digestion, il faut plus d'air qu'avant le repas, pour surmonter l'assoupissement qui tend à se produire.

L'imagination elle-même a aussi une certaine influence sur les impressions ressenties. Les personnes habituées à laisser les fenêtres ouvertes ne peuvent les supporter fermées, même lorsqu'il passe, dans la pièce où elles se trouvent, plus d'air lorsque les fenêtres sont fermées que lorsqu'elles sont ouvertes (fait que M. Percy a constaté, à plusieurs reprises, à la Chambre des Communes de Londres).

En principe, il est évident que plus la composition de l'air intérieur se rapprochera de celle de l'air extérieur, plus les conditions de salubrité seront satisfaisantes. Ce résultat ne sera jamais complètement obtenu, attendu que le volume de l'air de ventilation se trouve forcément limité par plusieurs raisons.

D'abord, quel que soit le procédé de ventilation employé, le travail nécessaire pour mettre l'air en mouvement augmente avec le volume à faire circuler. Il en est évidemment de même de la dépense afférente à la production de ce travail ; de plus, les frais de chauffage, en hiver, s'accroissent très notablement à mesure qu'augmente le volume de l'air de ventilation qu'il faut chauffer à la température du local qu'on veut aérer ; enfin dans une enceinte habitée, il ne faut pas que l'air circule autour du corps avec une vitesse sensible. Telles sont les principales conditions qui limitent le volume d'air à introduire.

Mais, d'ailleurs, au lieu de chercher à diluer dans une énorme masse d'air les produits viciés de la respiration, il est bien préférable d'éviter, dans la mesure du possible, de les mélanger avec l'atmosphère de la salle à ventiler. Mieux on s'opposera à ce mélange, au moins dans la zone habitée, plus on pourra réduire le volume d'air neuf à fournir. Si la séparation était complète, nous avons vu qu'il suffirait d'un demi-mètre cube environ par individu, pour subvenir aux besoins de la respiration.

Or, le mélange gazeux vicié que nous expirons est moins dense que l'air, à la fois parce qu'il contient beaucoup de vapeur

d'eau et très peu seulement d'acide carbonique, et parce que sa température est notablement supérieure à celle de l'atmosphère ambiante. Ces gaz viciés tendent, par conséquent, à s'élever, aussi bien, d'ailleurs, que ceux qui proviennent des appareils d'éclairage. Il est donc tout indiqué de chercher à favoriser ce mouvement ascensionnel, et pour cela, d'introduire l'air neuf à la partie inférieure des locaux, aussi près que possible des occupants, à une température très peu élevée et de ménager, à la partie supérieure des orifices pour l'évacuation des gaz viciés.

Ce n'est que depuis qu'on a eu recours à cette méthode si simple, si rationnelle, enseignée depuis longtemps par M. le professeur E. Trélat, qu'on est enfin parvenu à réaliser, dans les salles de spectacle, les amphithéâtres, etc., une ventilation très satisfaisante, avec une introduction d'air neuf bien inférieure à celles qui avaient été jusque-là considérées comme nécessaires, et malgré lesquelles on n'avait obtenu que des résultats médiocres.

La ventilation doit varier suivant les circonstances; elle doit être plus abondante pour des locaux habités d'une manière permanente et présentant des causes particulières de souillure et d'infection de l'air, comme les hôpitaux, que pour des salles occupées momentanément par des individus sains, comme les classes et études d'une école, par exemple. Elle devrait également varier suivant la température, le degré hygrométrique, etc., de l'atmosphère extérieure.

En présence d'éléments aussi complexes, on conçoit combien il est difficile de fixer exactement le volume d'air nécessaire pour assurer une bonne ventilation.

Péclet, dans ses premières appréciations, estimait qu'un volume de 6 mètres cubes par personne et par heure était suffisant. Il s'appuyait sur des expériences faites notamment dans une salle d'école où une ventilation artificielle établie sur cette base suffisait pour empêcher l'odeur; mais il convient d'observer que, en dehors de la ventilation artificielle, il y avait par les joints des portes et des fenêtres une ventilation naturelle dont Péclet n'avait pas tenu compte.

Aujourd'hui on impose généralement de fournir un minimum de 10 à 12 mètres cubes d'air neuf par enfant et par heure.

Pour les hôpitaux, on avait d'abord admis 20 mètres cubes par malade et par heure ; mais ce nombre fut bientôt reconnu insuffisant, on le porta à 60 mètres cubes, puis à 100 mètres cubes, sans réussir toujours à faire disparaître complètement l'odeur caractéristique des salles de malades.

Voici, d'après le général Morin, quel serait, dans chaque cas, le volume d'air neuf qu'on doit fournir pour assurer une bonne ventilation.

Volume d'air vicié à extraire et d'air neuf à introduire par heure et par individu pour assurer la salubrité des lieux habités :

Hôpitaux..	Malades ordinaires	60 à 70me
	Blessés et femmes en couches	100
	En temps d'épidémie	150
Prisons		50
Ateliers...	Ordinaires	60
	Insalubres	100
Casernes..	De jour	30
	De nuit	40
Salles de spectacles		40 à 50
Salles d'assemblées et de réunions prolongées		60
Salles de réunions momentanées, amphithéâtres		30
Écoles d'enfants		12 à 15
Écoles d'adultes		25 à 30
Écuries et étables		180 à 200

Ces nombres sont, en général, trop élevés ; ils résultent de ce que le général Morin n'admettait que le système de ventilation descendante, dans lequel l'air neuf, introduit par le haut des salles, se mélange avec les gaz viciés qui tendent à gagner les régions les plus élevées. On conçoit que, dans ces conditions, il faille augmenter beaucoup l'importance de la ventilation, pour que l'air puisse être encore suffisamment pur dans la région habitée.

En pratiquant la ventilation d'après la méthode rationnelle que nous avons indiquée, on peut réduire très sensiblement les

quantités d'air neuf à introduire dans les divers cas mentionnés dans le tableau ci-dessus.

1188. Pour la détermination du volume d'air nécessaire à la ventilation, on prend généralement pour base un volume fixe à fournir par heure et par personne. Cette méthode, qui ne fait pas intervenir les dimensions relatives de l'enceinte, peut conduire, suivant le degré d'encombrement, à des résultats bien différents au point de vue de l'efficacité réelle de la ventilation.

Bien que les produits plus ou moins impurs qui se dégagent du corps humain paraissent se diffuser assez rapidement, il n'en doit pas moins exister autour de chaque personne une zone plus particulièrement souillée, le maximum de viciation se présentant dans le voisinage immédiat de l'individu. C'est donc surtout autour du corps qu'on doit s'efforcer d'assurer le renouvellement de l'air.

Dans une enceinte où l'air est renouvelé par un courant ascendant ou descendant réparti régulièrement sur toute l'étendue de la surface horizontale et qui est occupé par un petit nombre de personnes éloignées les unes des autres, il passe, dans les intervalles qui séparent ces personnes, un volume considérable d'air qui ne sert pas à leur respiration et contribue relativement peu à l'assainissement. C'est le cas d'un hôpital où la surface horizontale par individu est souvent de 10^{m2}.

Il en est tout autrement dans une pièce encombrée comme une salle d'assemblée, un théâtre. Tout l'air passe alors près du corps des occupants et est employé utilement ; on conçoit, d'après cela, que, toutes choses égales d'ailleurs, le volume d'air à fournir par personne doive varier en sens inverse de l'encombrement.

Il paraîtrait logique de régler la ventilation de telle sorte qu'il passât un volume d'air déterminé autour du corps dans un certain rayon ; comme il est généralement impossible de faire circuler l'air plus rapidement en un point qu'en un autre, cela conduirait à calculer le renouvellement d'air dans une enceinte en fixant le nombre de mètres cubes qui doivent passer par mètre carré de surface horizontale.

Dans une salle d'hôpital où la surface afférente à chaque malade serait de 10 mètres carrés, si la ventilation était réglée à raison de 100 mètres cubes par malade, le volume qui passerait par mètre carré serait de 10 mètres cubes. La vitesse moyenne de l'air serait de $0^{m},00277$ par $1''$, en supposant le courant bien réparti.

Dans une salle d'école où chaque enfant occuperait une surface de 1 mètre carré, un volume d'air de 10 mètres cubes par enfant produirait le même renouvellement par mètre carré que 100 mètres cubes dans un hôpital.

On conçoit d'ailleurs que le volume d'air par mètre carré doive augmenter avec le degré d'encombrement, et, dans une salle d'assemblée, on est conduit à le porter à 20 mètres cubes et même à 30 mètres cubes.

On détermine quelquefois le volume d'air de ventilation par la condition de renouveler l'air de l'enceinte un certain nombre de fois par heure. Suivant la hauteur des étages, on obtient ainsi pour le volume qui passe par personne ou par mètre carré, des résultats très différents et quelquefois tout à fait illogiques.

Ainsi, pour deux salles ayant l'une 3 mètres de hauteur et l'autre 6 mètres, occupées par le même nombre de personnes, la ventilation calculée sur cette base serait deux fois plus considérable pour la seconde salle que pour la première.

On arriverait ainsi à cette conséquence que la ventilation devrait être d'autant plus abondante que les salles sont plus hautes d'étage ; or c'est évidemment le contraire qui doit avoir lieu.

Cette base de calcul ne saurait donc être acceptée que pour des hauteurs d'étage déterminées. Avec une hauteur de 4 mètres, il faut un renouvellement d'air de deux fois et demie par heure pour donner un volume de 10 mètres cubes par mètre carré de surface horizontale.

Pour une salle d'école de cette hauteur, on produirait ainsi une ventilation de 10 mètres cubes d'air par heure et par enfant, chacun d'eux occupant 1 mètre carré de surface.

Dans une salle d'hôpital, où il y aurait pour chaque lit une

capacité de 50 mètres cubes, le même renouvellement de deux fois et demie par heure donnerait une ventilation de 125 mètres cubes par malade.

En résumé, aucune des bases de calcul servant à déterminer le volume de l'air de ventilation n'est absolument correcte. Dans cette incertitude le mieux est de fixer le nombre de mètres cubes d'air à fournir par heure et par personne en tenant compte du degré d'encombrement de l'enceinte occupée.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES DIVERS SYSTÈMES DE VENTILATION.

1189. Principes à observer pour la ventilation des lieux habités. — Les différents systèmes auxquels on peut avoir recours pour effectuer la ventilation d'un local ont, en somme, tous pour but d'assurer l'introduction d'un certain volume d'air neuf, et, simultanément, l'extraction des gaz viciés. Tous doivent donc s'inspirer des mêmes principes qui sont très simples et se résument en ceci : faire en sorte que l'air neuf soit respiré aussi pur que possible ; enlever les gaz viciés dès qu'ils sont produits, en ayant soin d'éviter leur mélange avec l'air neuf.

Pour réaliser ces conditions, l'air neuf sera amené dans l'enceinte à desservir par de larges conduits aussi courts que possible et faciles à entretenir dans un parfait état de propreté; on le fera pénétrer à proximité immédiate des occupants à une température voisine de celle qu'on veut maintenir dans la salle et avec les précautions convenables pour s'opposer à la production de courants gênants.

Afin d'éviter son mélange avec les gaz viciés, on profitera du mouvement ascensionnel que ceux-ci tendent spontanément à prendre, en raison de leur légèreté relative; lemouvement de l'air de ventilation devra donc s'effectuer de bas en haut, les orifices d'introduction étant, comme nous l'avons dit, placés dans les régions habitées, aussi près que possible des individus, et les bouches d'évacuation étant, au contraire, ménagées à la partie supérieure des locaux à ventiler.

Certes, on ne pourra pas toujours satisfaire à ces conditions; mais on devra tout au moins chercher à s'en rapprocher.

C'est presque toujours assez facile dans les salles d'assemblée, les théâtres et, d'une manière générale, dans tous les locaux où les occupants ont des places bien déterminées. C'est ordinairement plus difficile et souvent impossible dans les maisons d'habitation en raison du mode de chauffage qu'on y emploie généralement et qui ne permettrait pas d'évacuer les gaz viciés par des orifices placés à la partie supérieure.

Dans certains cas, on peut recourir à la ventilation naturelle, c'est-à-dire à celle qui se produit spontanément, grâce à l'ouverture d'orifices convenablement placés et servant les uns pour l'introduction, les autres pour l'évacuation.

Le plus souvent il faut employer des dispositions spéciales pour assurer la circulation de l'air destiné à produire la ventilation. Pour obtenir ce résultat, on peut soit faire un appel dans les locaux à ventiler et ménager des orifices d'introduction par où l'air extérieur pourra pénétrer, soit, au contraire, insuffler l'air neuf et disposer des bouches d'évacuation pour la sortie des gaz viciés; enfin la combinaison de ces deux procédés est quelquefois employée.

La ventilation par appel ne nécessite pas d'appareils mécaniques; au contraire, la ventilation par insufflation en exige l'emploi; c'est pourquoi, dans bien des cas, on est conduit à préférer le système par appel malgré qu'il ne soit pas sans inconvénients.

Avec ce dernier système, en effet, on est obligé de créer dans les locaux à ventiler une certaine dépression, d'autant plus grande que les conduits d'amenée d'air frais sont plus étroits et plus longs et présentent une résistance plus considérable au mouvement de l'air. Pour peu que cette dépression soit assez sensible, et c'est ce qui arrive fréquemment, l'air extérieur tend à pénétrer par les fissures des portes et des fenêtres en donnant lieu à des courants désagréables ou même dangereux.

C'est là un fait d'observation banale que l'on peut constater dans presque tous les théâtres, lorsqu'on ouvre la porte d'une

loge; il convient d'ailleurs de remarquer que, dans ces conditions, il n'arrive par les orifices qu'on avait ménagés pour l'introduction qu'une partie plus ou moins faible du volume total de l'air aspiré; le reste pénètre par les fentes des portes et des fenêtres, de sorte que, même avec une ventilation abondante, le renouvellement peut n'être pas suffisamment assuré dans la région habitée.

Il y a des cas cependant où on peut recourir à ce système : c'est lorsqu'il est facile de faire arriver l'air neuf par des orifices ménagés dans les murs extérieurs, en supprimant toute espèce de conduits; il n'y a plus alors de dépression sensible à produire dans les locaux et les inconvénients que nous avons signalés plus haut sont considérablement atténués.

Quand, au contraire, on insuffle de l'air dans une salle, on tend à y créer un excès de pression, d'ailleurs très faible, puisqu'il n'a besoin que d'être suffisant pour faire sortir l'air de la salle, soit par des orifices s'ouvrant directement à l'extérieur, soit par des gaines en général larges et courtes. Quand bien même, d'ailleurs, il y aurait dans la salle une surpression sensible, il ne tendrait à se produire que des courants sortants, beaucoup moins gênants que ceux qui sont dirigés de l'extérieur vers l'intérieur.

Aussi, à moins de raisons particulières, c'est à ce procédé qu'il faut recourir pour la ventilation des salles d'assemblées, des théâtres, et, d'une manière générale, chaque fois qu'on pourra employer des appareils mécaniques.

En raison des inconvénients auquel elle donne généralement lieu, on ne doit effectuer la ventilation par appel que lorsqu'on ne peut pas faire usage d'appareils mécaniques.

Dans ce système, l'aspiration peut être produite soit par des cheminées chauffées ou non, soit par des ventilateurs aspirants, soit encore par des jets d'air comprimé ou de vapeur.

A l'exception des cheminées, les mêmes appareils peuvent servir pour la ventilation par insufflation; il suffit de renverser leur fonctionnement.

Nous étudierons successivement :

La ventilation naturelle;
La ventilation par cheminées chauffées;
La ventilation mécanique.

§ II

VENTILATION NATURELLE.

1190. — La ventilation naturelle est celle qui se produit sous l'action des mouvements de l'air dans l'atmosphère et dans les lieux habités, sans nécessiter l'intervention d'aucune force artificielle. Dans un lieu habité, il est bien rare que l'air reste complètement stagnant; les plus légères influences déterminent son mouvement, et, lorsqu'une communication quelconque existe avec l'extérieur, il se produit une circulation dans un sens ou dans l'autre.

Si, par exemple, deux orifices sont ouverts, l'un près du plancher, l'autre près du plafond, il s'établit naturellement un courant. L'air extérieur pénètre par une des ouvertures, le plus souvent par celle du bas, se répand dans la pièce et l'air intérieur sort par l'autre orifice. Ce mouvement est nécessairement très irrégulier et dépend des températures extérieure et intérieure et des circonstances atmosphériques.

S'il n'y a qu'une seule ouverture, comme une fenêtre, une porte, il s'y établit deux courants simultanés de sens inverse, l'un entrant, l'autre sortant. L'air intérieur, généralement plus chaud, s'échappe par la partie supérieure, tandis que l'air extérieur, plus froid, rentre par le bas.

C'est ce que l'on constate bien simplement en entr'ouvrant, pendant l'hiver, une porte dans l'intérieur d'un appartement. En approchant une bougie allumée on voit le plus souvent la flamme s'incliner vers l'intérieur près du plancher, tandis qu'elle se penche vers l'extérieur près du plafond.

Si deux fenêtres sont ouvertes en même temps sur les faces opposées d'un bâtiment, comme celles-ci sont inégalement chauffées par le soleil, un courant d'air se produit d'une fe-

nêtre à l'autre à travers l'appartement et souvent avec une extrême violence.

L'ouverture des fenêtres suffit ordinairement, en raison de leur grande section, pour produire une ventilation abondante et un renouvellement rapide de l'air intérieur. Une fenêtre de 3 mètres carrés de section dans laquelle l'air passe avec une vitesse de 0,10 par 1", ce qui est tout à fait insensible, donne issue à plus de 1000 mètres par heure, ce qui suffit pour renouveler quinze fois dans ce temps l'air d'une pièce de 70 mètres cubes de capacité (5 mètres de long sur 4 de large et $3^m,50$ de hauteur). Le vent le plus faible ayant par exemple 0,50 par 1" ferait circuler 5 400 mètres cubes en une heure.

Quelquefois cependant, dans les temps chauds et lourds, l'air est à peu près complètement calme et stagnant et la ventilation nulle. Si, dans ces conditions, un grand nombre de personnes sont réunies dans une salle, elles ne tardent pas, malgré l'ouverture des fenêtres, à souffrir du manque d'air.

Pourtant l'ouverture de grandes fenêtres est ordinairement le moyen le plus efficace et le plus rapide de renouveler l'air des locaux habités. Mais ce moyen n'est pas applicable en permanence pendant l'hiver, ni même pendant l'été.

Lorsque les portes et les fenêtres sont fermées, il s'établit souvent par leurs joints, qui ne sont jamais étanches, des courants animés de vitesses considérables et qui se font sentir à d'assez grandes distances. De là, l'usage des bourrelets placés sur les joints des portes et des fenêtres et qui sont souvent cause que les cheminées fument.

Le volume d'air qui entre ou qui sort par les fissures des portes et des fenêtres peut être considérable ainsi que le montrent les quelques faits suivants.

Dans une chambre de 70 mètres cubes de capacité pourvue de deux fenêtres et de quatre portes, on a dégagé de l'acide carbonique jusqu'à ce que l'atmosphère en renfermât 0,07. Au bout d'une demi-heure, la ventilation naturelle par les fissures avait réduit cette proportion à 0,003.

Dans une pièce munie d'une cheminée sans feu, le général

Morin a constaté qu'il y avait par heure une rentrée d'air de 246 mètres cubes correspondant à l'introduction de $5^{mc},92$ par mètre linéaire de joint de porte ou de fenêtre. La somme des sections de ces fissures est beaucoup plus grande qu'on ne serait disposé à le croire.

Ainsi, on a calculé, dans une expertise sur les chauffage de l'église Saint-Roch, que la somme des sections de toutes les fissures des fenêtres était de 14 mètres carrés.

On a fait aussi l'expérience suivante :

Une boîte de 0,90 de long sur 0,22 de large et 0,11 de hauteur était fermée de toutes parts sauf sur un des deux petits côtés. Elle fut enduite de résine sur toute sa surface et le côté ouvert fut fermé par une brique avec joints de résine. On introduisit dans la boîte de l'acide carbonique, de telle sorte que l'atmosphère de la boîte en renfermait seize centièmes au commencement de l'expérience. Au bout de deux heures, cette proportion était réduite à quatorze centièmes. En enduisant la brique de résine, on s'assura que la boîte ne perdait pas. L'acide carbonique avait donc passé à travers la brique.

L'air traverse les plafonds enduits au plâtre; on remarque souvent, en effet, que les traces des solives sont très apparentes. Cela provient de ce que l'air, en traversant le plâtre, est en quelque sorte filtré, abandonne les poussières qu'il tient en suspension et donne au plafond la teinte grise plus foncée qu'on observe dans l'intervalle des solives.

M. Pettenkofer a montré que l'air peut facilement traverser un mur en briques. Il se servait pour cela d'une boîte métallique hermétiquement close et séparée en deux compartiments par un mur en briques bien rejointoyé dont on apercevait les deux faces à travers deux châssis vitrés.

Chacun des compartiments était muni d'une petite tubulure. En soufflant dans l'une de ces tubulures on pouvait éteindre la flamme d'une bougie présentée devant l'autre.

Il résulte d'expériences faites par M. Hudelo que, pour un mur en briques de 0,22 d'épaisseur, hourdé en terre à four, une pression de 0,01 d'eau fait passer environ 1 mètre cube par

mètre carré et par heure. Quand le mur est mouillé, ce volume est réduit aux quatre dixièmes; quand le mur est recouvert d'un enduit de plâtre, il est réduit au tiers.

Un mur de 0,11, hourdé en plâtre, ne laisse passer que $0^{mc},700$ par mètre carré. Deux enduits de plâtre réduisent à $0^{mc},200$ environ le volume d'air qui passe à travers le mur.

Enfin, un mur en briques, hourdé en ciment, est encore traversé par l'air. Sous une pression de 0,01 d'eau, il passe $0^{mc},013$ par mètre carré et par heure.

Il n'est donc pas douteux que l'air pénètre et circule dans des capacités que l'on peut croire complètement closes, mais le volume ainsi introduit est beaucoup trop faible pour qu'on en tienne compte pour la ventilation. Ainsi, pour un mur de briques de 0,11, par exemple, enduit de plâtre de deux côtés, le volume qui passe, pour une pression d'eau de 0,00026 correspondant à une vitesse de vent de 2 mètres par mètre carré, est de $0^{mc},032$, soit, pour une surface de 20 mètres carrés $0^{mc},640$, c'est-à-dire un volume insignifiant au point de vue de la ventilation.

Un mur de 0,50 en moellons laisserait certainement passer beaucoup moins encore. C'est surtout par les joints des portes et des fenêtres que l'air s'introduit dans les appartements.

En somme, on peut dire que même dans les locaux qui ne sont munis d'aucune ouverture spéciale pour la ventilation, il y a toujours un renouvellement d'air, mais, comme celui-ci est en général très faible, très irrégulier et qu'il peut même être nul pendant un temps assez long, il est nécessaire que ces locaux présentent un cube assez grand pour constituer une réserve capable de suffire, pendant plusieurs heures au moins, aux besoins de la respiration.

Les règlements administratifs indiquent déjà que la hauteur des plafonds ne doit pas descendre à Paris au-dessous de $2^{m},60$, et c'est un vrai minimum. Aucun règlement ne prévoit un cube minimum par personne, mais dans les constructions où on se préoccupe de réaliser des conditions hygiéniques satisfaisantes, il importe de ne pas descendre au-dessous d'une certaine limite.

Pour les casernes, une commission anglaise a fixé ce minimum à 17 mètres cubes par soldat.

En France, pour les hôpitaux, on a indiqué 40 mètres cubes et plusieurs salles sont même établies avec 50 et 55 mètres cubes à Lariboisière et 70 mètres cubes au nouvel Hôtel-Dieu.

1191. — Pour donner à la ventilation naturelle une certaine efficacité, il faut établir des orifices différents pour l'entrée et la sortie de l'air. La principale difficulté dans la disposition de ces ouvertures est d'éviter les courants d'air, qui sont souvent incommodes et dangereux.

On fait encore usage en Égypte d'un dispositif qui remonte aux temps les plus reculés et qui consiste en deux espèces d'entonnoirs dont les ouvertures sont directement opposées. L'une, dirigée dans le sens du vent dominant (nord-est en Égypte), sert pour l'introduction de l'air dans les appartements, et l'autre sert pour la sortie.

Sur les navires, on emploie pour aérer les entreponts, des appareils connus sous le nom de *manches à vent*, et dont le fonctionnement est assez analogue à celui de l'appareil égyptien, mais avec cet avantage que la manche à vent étant mobile, son ouverture peut toujours être placée de manière à profiter de la vitesse du bateau.

En Autriche et en Allemagne, on a essayé de régulariser la ventilation au moyen de gaines munies d'orifices et de registres convenablement disposés. Il fallait continuellement manœuvrer ces registres selon les variations des températures intérieures et extérieures et encore, malgré toute cette peine, le fonctionnement n'était pas assuré ; aussi le système a reçu peu d'applications.

En Angleterre, on a établi dans certaines constructions des communications directes de l'intérieur à l'extérieur des habitations, en se servant de briques perforées pour une ou deux assises des murs. Ces briques sont percées de conduits intérieurs évasés de manière à atténuer les courants et les rendre moins gênants. On a recours également à des bouches placées dans le plein des murs et aboutissant à des gaines verticales surmontées d'une pyramide qui en forme le couronnement et dont les

faces sont munies d'une foule de petits ajutages en bois ou en verre de 15 millimètres de diamètre.

A Londres, l'atmosphère est tellement chargée de poussières de suie que ces appareils s'encrassent rapidement, et qu'au bout d'un certain temps l'air qui les traverse est plus sale que l'air extérieur.

On remédie à cet inconvénient en disposant des filtres à air, destinés à retenir les poussières. Ces filtres se salissent en peu de temps, il faut avoir soin de les remplacer souvent. A défaut de cette précaution, les vides du filtre s'obstruent bien vite et l'introduction d'air ne peut plus avoir lieu.

Fig. 660.

En France, on établit souvent la communication entre l'atmosphère et l'intérieur des appartements au moyen d'un vasitas. C'est un châssis mobile (fig. 660), ordinairement vitré, disposé dans le haut d'une fenêtre et qu'on peut ouvrir ou fermer à volonté, au moyen de cordes ou de tringles. Pour éviter les courants trop directs sur les personnes voisines on le munit de joues latérales. Le courant est dirigé vers le plafond. Souvent, dans le même but, on dispose dans la baie du vasistas, soit une tôle perforée, soit un canevas qui brisent le courant et l'empêchent de se faire sentir à grande distance. Mais il faut toujours se réserver les moyens de fermer complètement un vasistas, pour le cas où le vent devient trop fort ou la température trop basse. On en a fait dont on pouvait régler à volonté l'ouverture par des mécanismes plus ou moins compliqués.

1192. Vitres perforées. — M. le professeur Émile Trélat a indiqué une très heureuse solution pour supprimer, dans une enceinte habitée, les inconvénients résultant de l'entrée de l'air froid par des orifices de grande section réservés dans les fenêtres ou de son introduction par des gaines étroites, d'un nettoyage difficile, dans lesquelles se forment des dépôts de

poussières minérales et organiques. Son système (fig. 661) consiste à percer les vitres d'une multitude de petits orifices tronconiques dont la petite base est placée à l'extérieur. Les vitres, en raison de leur destination, présentent l'avantage capital d'être toujours entretenues en état de propreté. Ce produit dont la préparation a présenté de grandes difficultés est maintenant couramment obtenu par MM. Appert, Geneste et Herscher.

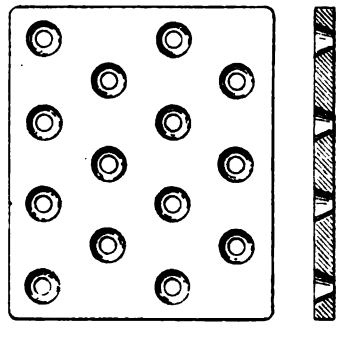


Fig. 661.

Les vitres ont $3^{mm},5$ d'épaisseur et sont perforées de trous espacés de 15 millimètres d'axe en axe ; les trous ont 3 millimètres à l'extérieur et 6 millimètres à l'intérieur. La surface libre d'entrée par mètre carré de vitres est de $3^{dmq},5$. L'air qui s'introduit dans la salle, même par un vent assez fort, s'épanouit à l'intérieur en suivant les génératrices du cône et n'entre dans la pièce qu'avec une vitesse très réduite, insuffisante pour blesser les habitants.

Pour pouvoir, au besoin, réduire la ventilation par les vitres perforées, soit lorsque le vent est violent, soit quand le temps est froid, on les double de châssis vitrés pleins qu'on peut fermer à volonté. Cette fermeture permet d'ailleurs d'éviter un refroidissement excessif et nuisible des locaux pendant les périodes de non-occupation.

L'application des vitres perforées ayant été faite dans certaines classes de lycée, M. Wallon fut chargé de faire des expériences sur le régime des courants d'air et sur la quantité d'acide carbonique que renfermait l'atmosphère de la salle.

M. Wallon a expérimenté directement et simultanément sur des classes contenant 28 élèves, l'espace cubique était de 10 mètres cubes et le chauffage était obtenu par un ruban de chaleur contournant la partie basse des murs.

Ces salles étaient, d'ailleurs, munies près du plancher de bouches d'introduction d'air et près du plafond d'orifices situés

à la base de gaines d'évacuation. Les croisées étaient garnies de verres perforés à la partie supérieure sur les deux faces opposées de la salle.

En ce qui concerne le régime des courants d'air, il a été constaté que, tant que le vent ne souffle pas trop fort, tout se passe bien, à la condition que des batteries de chauffage soient établies au bas des baies vitrées, ce qui est justement admis comme un parti excellent de tous points.

Lorsque le vent était trop violent, on était amené à fermer les orifices des vitres perforées. Malgré cela, pourvu que les bouches d'évacuation fussent laissées ouvertes, il a été constaté que la ventilation restait suffisante, grâce aux fissures inévitables des portes et des fenêtres et que, dans ces conditions, il ne se produisait aucun courant d'air gênant quand on faisait fonctionner les appareils de chauffage placés au bas des fenêtres munies de vitres perforées.

Voici les résultats constatés quant aux proportions d'acide carbonique dans l'air des salles :

	Proportion de CO^2 (en volume) après deux heures d'occupation de la salle.
1° Sans aération ménagée dans la salle.....	0,0027
2° Avec carreaux perforés ouverts sur les deux faces.....	0,0020
3° Avec utilisation de bouches d'introduction d'air et de gaînes d'évacution.....	0,0018
4° Avec verres perforés, bouches d'introduction et gaînes d'évacuation.....	0,0015

Observation. — Quand la classe munie de carreaux perforés est restée inoccupée pendant une heure et demie, l'acide carbonique reprend sa dose normale 0,0003 (en volume).

1193. — L'ouverture des fenêtres et même seulement d'orifices communiquant plus ou moins directement avec l'extérieur, bien que désirable en tout temps pour assurer la salubrité des locaux habités, ne peut se faire d'une manière permanente. Aussi, en Angleterre principalement, a-t-on essayé de nombreux dispositifs permettant de réaliser une ventilation naturelle. Nous

allons en indiquer très sommairement quelques-uns bien que ces appareils, dont l'effet dépend de l'action du vent, fonctionnent toujours d'une manière très irrégulière.

1194. Ventilateur de Mackinnel. — Il se compose d'un double tube placé dans le plafond de la pièce à ventiler et communiquant avec l'extérieur. L'air extérieur s'introduit par la partie annulaire et l'air vicié sort par le tuyau central.

1195. Ventilateur de Muir. — C'est une cheminée carrée en charpente placée au-dessus du toit du local à ventiler. Sur les quatre faces sont des persiennes. La cheminée est divisée en quatre compartiments. Suivant la direction du vent, l'air s'introduit par un ou deux de ces compartiments et sort par les autres.

1196. Appareil Noualhier. — En France on a essayé divers dispositifs pour faire concourir le vent à l'évacuation de l'air des locaux habités.

Un des appareils le plus employé est formé d'un tuyau en tôle galvanisée tout autour duquel sont enroulés un certain nombre de conduits hélicoïdaux dont les orifices inférieurs sont disposés sur toute la circonférence, de sorte que le vent de quelque côté qu'il souffle s'introduit toujours dans un certain nombre d'entre eux. Les filets fluides pénètrent d'abord horizontalement, se relèvent ensuite en suivant les ajutages et sont lancés verticalement dans la direction de l'orifice de sortie du tuyau central. Leur mouvement détermine dans ce dernier une aspiration et, par suite, un écoulement d'air emprunté au local avec lequel l'appareil est en communication. Mais, dans les temps calmes, l'appareil n'agit pas et même, lorsqu'il fait du vent, son action est forcément irrégulière.

1197. Appareil mobile. — Dans certains cas, on place, au sommet du tuyau T d'évacuation, un cylindre vertical de diamètre plus grand que le tuyau fig. 662. Ce cylindre mobile autour d'un axe est pourvu d'un ajutage conique à sa partie inférieure; sa base est fermée et percée d'un orifice dans lequel s'engage le tuyau T. L'extrémité supérieure est ouverte et recourbée d'équerre, elle est surmontée d'un appendice métallique M, disposé de façon que l'orifice de sortie de l'enveloppe

se présente toujours du côté opposé au vent, tandis que l'ajutage A fait toujours face au courant. L'air s'engouffre dans cet ajutage, monte verticalement dans le vide annulaire qui entoure le tuyau T et sort par l'orifice supérieur. Le mouvement de la colonne fluide détermine un appel d'air dans le tuyau T communiquant avec le local à desservir.

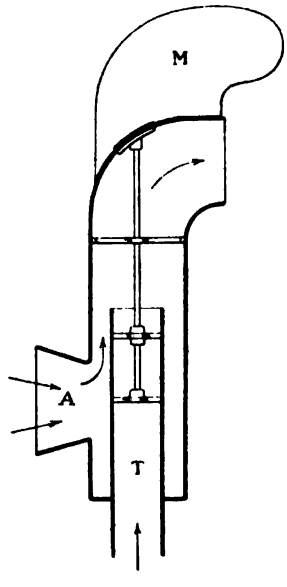


Fig. 662.

1198. Appareil fixe. — On se contente souvent d'établir des conduits verticaux ou cheminées débouchant au-dessus des toits, s'ouvrant à leur partie inférieure dans les lieux à ventiler et, autant que possible, près du plafond. On les surmonte quelquefois d'un chapeau muni de lames de persiennes pour empêcher l'introduction de la pluie.

En hiver, avec une hauteur de 10 à 15 mètres et une différence de température de 10° à 15°, il s'établit, dans chacune de ces cheminées, un courant d'air qui peut avoir une vitesse de 0,60 à 0,80 par 1″.

En été, ce courant n'existe plus quand les températures sont les mêmes à l'intérieur et à l'extérieur et les effets sont moins sûrs. On constate même fréquemment l'existence, dans ces gaines, de courants descendants. Cet effet peut du reste, se produire, aussi en hiver quand les conduits n'ont pas une grande hauteur et qu'on ne ménage pas des orifices suffisants pour l'entrée de l'air.

1199. Dimensions des gaines d'évacuation. — Une commission anglaise, chargée d'assurer la salubrité des casernes en Angleterre, a fait de nombreuses expériences sur les procédés permettant d'obtenir une ventilation naturelle. Elle en a conclu que, l'espace cubique par homme étant de 17 mètres cubes, il convient de donner aux orifices d'entrée et à ceux de sortie les sections indiquées dans le tableau suivant :

Sections des gaines d'évacuation d'air vicié pour 100 *mètres cubes de capacité des salles à ventiler* (*soit pour six hommes*) :

1er *Étage*.	$3^{dq},50$	vitesse	moyenne	supposée	0,80.
2e —	$4^{dq},00$	—	—		0,70.
3e —	$4^{dq},50$	—	—		0,62.

Les sections vont en diminuant à mesure que le tirage augmente avec la hauteur des gaines d'évacuation.

La Commission a également constaté que, lorsque les fenêtres étaient ouvertes, le courant d'air était très faible dans les conduits; au contraire, quand celles-ci étaient fermées et les chambres occupées, on évacuait par les gaines environ 17 mètres cubes par homme. Dans toutes les chambres il y avait, en outre, une cheminée produisant à peu près le même effet que les gaines. On avait ainsi 34 mètres cubes par homme, ce qui a été jugé suffisant.

Comme l'espace cubique était de 17 mètres cubes, on voit que cette ventilation correspondait à un renouvellement de deux fois par heure.

Il n'est pas inutile de remarquer qu'il s'agit, dans l'espèce, de salles habitées de jour et de nuit. Le chiffre assigné par la Commission anglaise se rapproche de ceux que nous avons calculés précédemment (**1180**).

Lorsqu'il s'agit de locaux occupés d'une manière intermittente, comme des salles de classes, d'études, etc., dont la durée d'occupation ne dépasse ordinairement pas deux heures par séance, on admet (**1187**) qu'il suffit d'une ventilation bien moindre que dans le cas précédent.

1200. Conclusion. — La ventilation naturelle présente le grand avantage de coûter fort peu d'installation et de n'exiger aucune dépense de fonctionnement, mais elle dépend évidemment des circonstances atmosphériques et est nécessairement irrégulière. Si elle peut suffire pour des locaux momentanément occupés par un petit nombre de personnes, elle devient souvent tout à fait insuffisante, en été surtout, pour des locaux où les causes de viciation de l'air sont très nombreuses.

incessantes et actives, pour des théâtres, par exemple, et en général, pour les salles où les foules s'entassent en grand nombre. Il en est de même pour les hôpitaux où le renouvellement de l'air ne saurait sans graves inconvénients rester quelque temps suspendu; dans ces différents cas et dans ceux analogues, il faut recourir à la ventilation artificielle.

§ III

VENTILATION PAR CHEMINÉE CHAUFFÉE.

1201. Ventilation par cheminée chauffée. — Chaque fois qu'un conduit vertical établit une communication entre l'intérieur d'une habitation et l'atmosphère, il s'y produit un courant d'air parce que la température n'est jamais absolument la même dans le conduit et à l'extérieur; ce mouvement est, comme nous l'avons vu, utilisé pour produire une ventilation naturelle; mais il est très irrégulier, car il est intimement lié à la différence des températures intérieure et extérieure; il est d'autant plus actif que cette différence est plus grande et c'est ce qui explique que la ventilation naturelle fonctionne mieux en hiver qu'en été.

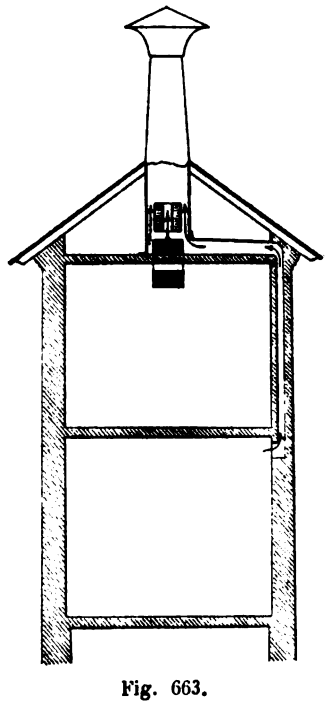


Fig. 663.

Pour avoir un fonctionnement régulier et suffisamment actif, il est indispensable de chauffer artificiellement l'air dans les conduits verticaux d'évacuation.

Les cheminées ordinaires d'appartement, à foyer découvert, sont de véritables cheminées de ventilation dans lesquelles l'air

est porté par son mélange avec les produits de la combustion à une température assez élevée pour déterminer un appel considérable.

Selon que les appareils employés pour chauffer l'air dans les cheminées sont au-dessus, ou bien au niveau ou enfin en contrebas des locaux à ventiler, on distingue :

L'appel par le haut;

L'appel à niveau;

L'appel par le bas.

Dans la disposition d'appel par le haut (fig. 663), l'appareil de chauffage est placé à la base d'une cheminée partant du comble du

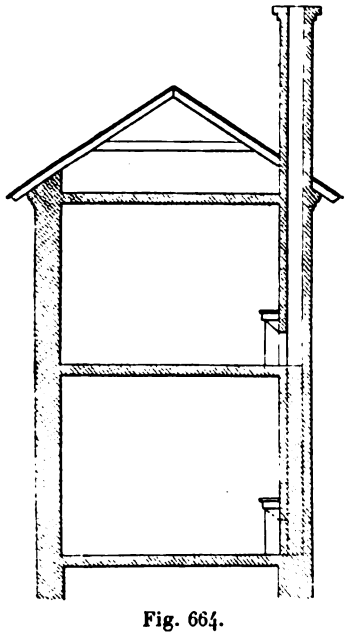


Fig. 664.

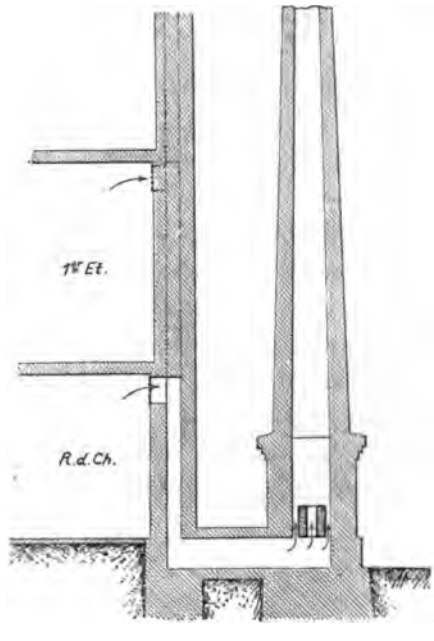


Fig. 665.

bâtiment à ventiler; l'air, venant d'une pièce habitée, chauffée à la température t, monte d'abord dans un conduit dont la hauteur h est égale à la distance verticale de l'étage au comble; puis dans la cheminée, de hauteur H, où il se trouve à la température T.

Dans l'appel à niveau (fig. 664), l'appareil de chauffage se

trouve au niveau de la pièce à ventiler et la hauteur H, de la cheminée chauffée à la température T, est la distance verticale qui sépare le plancher de l'étage du sommet de la cheminée placée au-dessus du comble.

Enfin, dans l'appel par le bas (fig. 665), l'air à t° redescend par un conduit de hauteur h jusqu'à la base d'une cheminée de hauteur H partant du rez-de-chaussée ou du sous-sol et dans laquelle il est chauffé à la température T.

Quel que soit le mode d'appel, la vitesse est donnée par la relation 35 du n° **205** :

$$v=\sqrt{\frac{2gE}{d(1+R)}} \quad \text{et} \quad E=\frac{\alpha d_0}{1+\alpha\theta}\left[\frac{H(T-\theta)}{1+\alpha T}\pm\frac{h(t-\theta)}{1+\alpha t}\right].$$

Dans ces formules, on désigne par :

v la vitesse de l'air chaud au sommet de la cheminée ;

E la dépression en hauteur d'eau produite par le tirage de la cheminée ;

R le coefficient de résistance (**205**).

H la hauteur de la cheminée ;

h la hauteur du conduit qui amène l'air depuis l'enceinte chauffée jusqu'à la base de la cheminée (h est positif dans le cas de l'appel par en haut, nul pour l'appel à niveau, négatif s'il s'agit de l'appel par le bas).

d et d_0 les densités de l'air à T° et à 0° ;

α le coefficient de dilatation de l'air.

$$\alpha=\frac{1}{273}=0{,}00367.$$

T, t et θ sont respectivement les températures dans les cheminées chauffées, dans la cheminée d'accès et dans l'atmosphère.

Le signe + dans la parenthèse correspond au cas de l'appel par le haut ou à niveau.

Le signe — s'applique dans le cas de l'appel par le bas.

Des relations précédentes, on tire :

$$\frac{v^2(1+R)d}{2g}=E$$

mais

$$d = \frac{d_0}{1 + \alpha T}$$

en substituant il vient

$$\frac{v^2 d_0 (1 + R)}{2g(1 + \alpha T)} = \frac{\alpha d_0}{1 + \alpha\theta}\left[\frac{H(T - \theta)}{1 + \alpha T} \pm \frac{h(t - \theta)}{1 + \alpha t}\right].$$

Comme, en pratique, les quantités $1 + \alpha\theta$ et le rapport $\frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t}$ sont l'un et l'autre peu différents de l'unité, on a très approximativement la relation :

$$\frac{v^2(1 + R)}{2g} = \alpha[H(T - \theta) \pm h(t - \theta)]$$

ou

$$v = \sqrt{\frac{2g\alpha}{1 + R}[H(T - \theta) \pm h(t - \theta)]} = 0{,}268\sqrt{\frac{H(T - \theta) \pm h(t - \theta)}{1 + R}}$$

Pour comparer les divers modes d'appel, supposons qu'on se propose de rejeter les gaz viciés à une même hauteur dans l'atmosphère et considérons un bâtiment composé d'un rez-de-chaussée et de trois étages de 4 mètres de hauteur chacun, dans lequel on maintient pendant l'hiver une température constante de 15°.

Pour la ventilation avec appel par le haut, on construira au-dessus du comble une cheminée d'une hauteur H = 8 mètres, dans laquelle on chauffera l'air à une température T supérieure de 24 degrés, par exemple, à la température extérieure θ; dans les étages et dans le conduit de hauteur variable h qui s'arrête à l'étage du comble, la température est $t = 15°$.

Dans la ventilation à niveau, chaque gaine ascendante partant du plancher de l'étage correspondant débouchera dans une cheminée commune ayant également 8 mètres de hauteur au-dessus du comble ; on aura de même $T - \theta = 24°$.

Pour la ventilation par le bas, l'air de chaque étage, pris à la température de 15°, redescendra au niveau du sol où un conduit horizontal l'amènera à la base d'une cheminée renfermant un

foyer et dont la hauteur sera $4 \times 4 + 8 = 24$ mètres. Nous supposons qu'on aura, dans ce cas aussi, $T - \theta = 24°$.

Le coefficient de résistance au mouvement de l'air est donné par la relation

$$R = \frac{4KL}{D}.$$

Si on prend $D = 0,25$, ce qui est à peu près un minimum, et $K = 0,015$, on a sensiblement $R = \frac{1}{4} L$.

En remplaçant les différentes lettres par leur valeur, dans les formules des vitesses et faisant $\theta = 5°$ pour l'hiver et $\theta = 15°$ pour l'été, on trouve les valeurs des vitesses pour les différents étages, selon la saison et les divers modes d'appel.

Supposons qu'en moyenne les gaines présentent une partie horizontale de 16 mètres de longueur. On a alors, pour chacune d'elles, la valeur de L en ajoutant 16 mètres à la longueur de leur partie verticale et on en déduit les valeurs de R consignées dans le tableau ci-dessous.

Tableau des vitesses de l'air au sommet de la cheminée d'appel

$$V = 0,268 \sqrt{\frac{H(T - \theta) \pm h(t - \theta)}{1 + R}}.$$

DÉSIGNATION des ÉTAGES.	APPEL						VALEURS DE R.		
	PAR LE HAUT.		A NIVEAU.		PAR LE BAS.		HAUT.	NIVEAU.	BAS.
	Été. $\theta = 15$	Hiver. $\theta = 5$	Été. $\theta = 15$	Hiver. $\theta = 5$	Été. $\theta = 15$	Hiver. $\theta = 5$	R	R	R
Rez-de-chaussée.	1,18	1,52	1,94	1,94	1,86	1,86	9	10	11
1er étage.....	1,25	1,50	1,86	1,86	1,78	1,72	8	9	12
2e étage.....	1,32	1,47	1,75	1,75	1,72	1,59	7	8	13
3e étage.....	1,40	1,44	1,61	1,61	1,66	1,48	6	7	14

Le tableau ci-dessus montre que, avec l'appel par le haut, c'est en été qu'on obtient les vitesses les plus faibles, les con-

duits verticaux dans les murs donnant lieu à des pertes de charge et ne produisant plus aucun effet utile ; c'est donc pour cette saison qu'il convient de calculer les dimensions des gaines et de la cheminée, qui doit suffire dans les conditions les plus défavorables. La cheminée partant du comble ne peut avoir, en général, plus de 8 à 10 mètres de hauteur totale.

En hiver, l'air contenu dans les gaines d'évacuation étant à une température supérieure à celle de l'air extérieur, il résulte de ce fait un appel dont l'effet vient s'ajouter à celui de la cheminée. Dans les limites considérées, cet appel croît avec la hauteur totale des gaines et de la cheminée, de telle sorte qu'il est maximum pour le rez-de-chaussée.

Dans l'appel à niveau, la gaine et la cheminée sont à la température T supérieure à θ et même à t; la vitesse de l'air augmente avec la hauteur de la cheminée chauffée. Cette hauteur diminuant à mesure qu'on monte d'un étage au suivant, la vitesse de sortie diminue de même. Il n'y a pas de différence entre l'été et l'hiver, puisque nous avons supposé que l'écart de température $T-\theta$ restait constant, quelle que soit la saison.

Dans le système de l'appel par le bas, on voit que la vitesse est minima en hiver pour l'étage supérieur ; cela résulte de ce qu'on est obligé de faire descendre sur toute la hauteur du bâtiment, une colonne d'air chaud à t°. On comprend que l'appel soit d'autant moindre que la température extérieure est plus basse, parce que l'air chaud a d'autant plus de difficulté à redescendre.

Plus cette température s'abaisse, plus la ventilation par le bas devient défectueuse ; si, par exemple, la cheminée spéciale partant du sol ne montait que jusqu'à la hauteur du troisième étage et si l'excès de la température intérieure sur celle de l'extérieur était de 24°. ce qui correspond à $\theta=-8^\circ$ et $t=16^\circ$, les températures seraient les mêmes dans les conduits descendants et dans la cheminée ; il n'y aurait donc pas de mouvement.

On peut dire que, dans l'appel par le bas, les conduits qui relient les locaux à ventiler à la cheminée d'évacuation sont, au point de vue du tirage, inutiles en été et nuisibles en hiver.

Cependant, d'après le tableau, la vitesse de sortie de l'air

dans le cas de l'appel par le bas est toujours supérieure à celle qu'on obtient au moyen de l'appel par le haut, et, en somme, d'après les nombres qui figurent au tableau, il semblerait que la ventilation par le haut est très inférieure aux deux autres.

Mais il convient de remarquer que, dans l'exemple qui a servi pour dresser le tableau, on a, en réalité, pour l'appel par le bas, une cheminée de 24 mètres alors que, pour l'appel par le haut, la cheminée n'a que 8 mètres et que, pour l'appel à niveau, les cheminées ont des hauteurs variables de 12 à 24 mètres suivant les étages. Nous indiquerons d'ailleurs (**1204**) un certain nombre d'inconvénients que présente le système d'appel par le bas.

1202. Si on réglait la ventilation pour avoir une dépense constante de chaleur à la base de la cheminée d'appel, ce serait non plus $T - \theta$, mais l'écart $T - t$ qui resterait constant.

Dans la pratique, la différence de température $T - t$ est très variable selon qu'on est en été ou en hiver. Il faut, en effet, pour que la cheminée d'appel fonctionne convenablement, que la température T de l'air qui la remplit surpasse d'une quantité à peu près constante (20 à 24° environ) celle θ de l'air extérieur.

En été il arrive souvent que la température t dans les pièces habitées est la même qu'à l'extérieur, on a alors $T - t = T - \theta = 24°$.

En hiver, si $\theta = 0$ et si la température des pièces habitées est toujours 16°, on a $T - t = 8°$.

L'excès de température à donner à l'air n'est que le tiers de ce qu'il est en été.

L'élévation de température jusqu'à 16° est fournie forcément pour le chauffage, et on l'utilise pour la ventilation.

Si la température extérieure θ descendait à $-8°$, t étant toujours égal à 16°, on aurait $T = t$ et il n'y aurait rien à dépenser spécialement pour élever la température de l'air dans la cheminée de ventilation.

En général, la chaleur à fournir spécialement pour la ventilation est d'autant moindre que la température extérieure est plus basse. On dépense plus pour le chauffage, moins pour la ventilation.

Pour établir l'égalité de ventilation entre les divers étages desservis par une même cheminée, il faut employer des registres qu'on manœuvre suivant la saison.

Pour avoir la même ventilation en toute saison, il faut faire varier en conséquence le chauffage de l'air dans la cheminée d'appel. Nous allons voir dans quelle mesure.

Pour que la ventilation ait une stabilité suffisante, il faut que l'air sorte au sommet de la cheminée d'appel avec assez de vitesse pour dominer les courants atmosphériques. La condition est la même que pour les cheminés d'usines pour lesquelles nous nous sommes donné $1^m,80$ comme vitesse minimum. Pour les cheminées d'appel il serait bon de prendre la même limite, mais cela conduirait à des dépenses de combustible exagérées, ou à des hauteurs de cheminées trop considérables; en conséquence on admet le plus souvent, comme limite inférieure, $1^m,50$ et parfois moins.

Cherchons d'une manière générale quelle sera la dépense de chaleur pour maintenir dans la cheminée une vitesse déterminée suivant le mode d'appel et la température extérieure.

La quantité de chaleur M à fournir pour appeler un volume d'air V est:

$$M = Vdc(T - t),$$

d étant la densité de l'air par rapport à l'eau (0,001293);
c sa capacité calorifique (0,2377);
T la température qu'il faut maintenir dans la cheminée pour obtenir la vitesse demandée;
t la température de l'enceinte ventilée où l'on aspire l'air.

Cette quantité de chaleur est donc proportionnelle à $T - t$. L'équation

$$\frac{v^2(1+R)}{2g} = \alpha H(T - \theta) \pm h(t - \theta)]$$

permet de calculer la valeur de $T - t$ nécessaire pour obtenir une vitesse déterminée.

Calculons d'abord $T - \theta$; la relation précédente donne

$$T - \theta = \frac{v^2(1+R)}{2g\alpha H} \mp \frac{h(t-\theta)}{H}$$

et par suite :

$$T - t = \frac{v^2(1+R)}{2gxH} - \frac{(H \pm h)(t-\theta)}{H}.$$

Si l'on se donne une vitesse v, au-dessous de laquelle on ne veut descendre dans aucun cas, on peut calculer au moyen de cette équation l'excès de température $T-t$ nécessaire pour produire cette vitesse dans des circonstances déterminées, et en déduire la dépense de combustible que nécessitera la ventilation.

1203. Faisons une application au bâtiment à quatre étages que nous venons de décrire. En prenant $v = 1,50$ comme limite minima, on forme le tableau suivant qui donne les valeurs de $(T-t)$ pour les trois modes d'appel et pour des valeurs de la température extérieure comprises entre $-10°$ et $+15°$.

Les nombres négatifs indiquent que, par le seul fait du chauffage de l'appartement, l'air possède un excès de température plus que suffisant pour donner la vitesse de $1^m,50$.

De l'examen du tableau, on peut déduire que :

Avec l'appel par le haut, la ventilation fonctionne naturellement pour tous les étages, tant que la température extérieure θ reste inférieure à $-5°$. Les nombres négatifs qu'on trouve dans le tableau indiquent qu'il faudrait abaisser de ce nombre de degrés la température de l'air vicié dans la cheminée, pour que la vitesse de sortie fût ramenée à $1^m,50$.

A la température de $0°$, la ventilation du rez-de-chaussée et celle du premier étage sont encore assurées sans qu'on ait besoin de chauffer la cheminée d'appel. Il faudrait chauffer de $1,2$ à $4,8$ pour le second et le troisième étages. A $+5°$, il faut chauffer de $+9°,1$ à $+12°,3$ suivant l'étage et quand la température extérieure devient égale à celle de l'intérieur, il faut, pour le rez-de-chaussée, relever de $39°,1$ la température de l'air vicié.

Tout l'air appelé des divers étages se rendant dans une même cheminée d'appel, il est clair qu'il faut la chauffer assez pour que le tirage s'effectue à l'étage le moins favorisé. En été il faudrait donc produire un excès de température de $39°,1$. En pratique, on se contenterait d'un excès de $24°$, qui donnerait lieu à une vitesse de $1^m,18$ (page 694).

Tableau des excès de température T — t à donner à l'air dans la cheminée d'appel pour obtenir à la sortie une vitesse constante de $1^m,50$.

La dépense de chaleur est proportionnelle à l'excès T — t.

TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE.	T — t											
	APPEL PAR LE HAUT.				APPEL A NIVEAU.				APPEL PAR LE BAS.			
θ	R.C.	1er étage.	2e étage.	3e étage.	R.C.	1er étage.	2e étage.	3e étage.	R.C.	1er étage.	2e étage.	3e étage.
— 10°	—35°9	—27°3	—18°7	—10°2	—10°7	—9°4	—7°4	—4°2	—9°4	—3°9	+1°6	+7°0
— 5	—20,9	—20,9	— 8,7	— 2,7	— 5,7	—4,4	—2,4	— 0,8	—4,4	+0,3	4,9	9,5
0	— 5,9	— 5,9	+ 1,2	+ 4,8	— 0,7	+0,6	+2,6	+5,8	+0,6	4,4	8,2	12,0
+ 5	+ 9,1	+ 9,1	+11,2	12,3	+ 4,3	5,6	7,6	10,8	5,6	8,6	11,6	14,5
+ 10	+24,1	+24,1	21,2	19,9	+ 9,3	10,6	12,6	15,8	10,6	12,7	14,9	17,0
+ 15	+39,1	+39,1	31,2	27,3	+14,3	15,6	17,6	20,8	15,6	16,9	18,2	19,5

Avec l'appel à niveau il n'est pas non plus nécessaire de chauffer la cheminée tant que la température extérieure reste au-dessous de $-9°$; à $0°$ on pourrait s'en dispenser pour le rez-de-chaussée, mais il faudrait un excès de $5°,8$ pour le troisième étage.

L'excès de température à donner à l'air vicié augmente avec la température extérieure; il est maximum, lorsque les températures extérieure et intérieure sont égales, et, pour assurer l'appel dans tous les étages, il faut alors un excès de $20°,8$. Pour la saison froide, si on prend $+5°$ comme température moyenne de l'hiver, la dépense moyenne de combustible est proportionnelle à $10°,8$.

Avec l'appel par le bas, les conditions sont bien différentes. Pour le second étage et le troisième, le chauffage des appartements ne suffit jamais pour produire un appel suffisant, et pour le troisième étage il faut un excès de $+7°$ pour une température extérieure de $-10°$.

Cet excès augmente beaucoup moins rapidement avec la température extérieure que dans les autres modes d'appel. Il s'élève progressivement à $14°,5$ pour la moyenne de l'hiver et à $19°,5$ pour celle de l'été. Les dépenses de chaleur sont proportionnelles à ces nombres.

1204. Afin de mieux faire ressortir la comparaison des trois modes d'appel, nous réunissons les nombres proportionnels aux dépenses de chaleur en prenant pour chaque système le cas le plus défavorable.

Nombres proportionnels aux dépenses de chaleur.

	Appel par le haut.	Appel à niveau.	Appel par le bas.
Hiver (Moyenne $+5°$)....	$12°,3$	$10°,8$	$14°,5$
Été.....	$39°,0$	$20°,8$	$19°,5$
Moyenne annuelle.....	$25°,6$	$15°,8$	$17°,0$

Il semblerait résulter de là que l'appel par le bas est plus avantageux que l'appel par le haut, au moins au point de vue de l'économie du fonctionnement. En réalité, l'appel par le bas coûte plus cher que l'appel par le haut pendant toute la période d'hiver et n'est relativement avantageux que pendant

l'été; mais, dans cette saison, le rôle des appareils de ventilation est bien diminué parce qu'on peut largement recourir à l'aération directe qui est encore, en somme, quand on peut l'employer, le meilleur, le plus efficace et en même temps le plus économique des procédés de ventilation. Dans la plupart des cas, pour comparer deux systèmes de ventilation, c'est donc surtout leur fonctionnement pendant la période d'hiver qu'il faut considérer, et cette comparaison n'est pas à l'avantage du système d'appel par le bas.

Dans les cas spéciaux (celui des théâtres, des salles d'assemblée), où on est obligé, même pendant l'été, de recourir d'une façon permanente à une ventilation artificielle, nous avons expliqué plus haut pourquoi il ne fallait pas effectuer la ventilation par appel, quel que soit le procédé employé (**1189**).

Par conséquent, l'avantage qui, d'après les résultats consignés au tableau ci-dessus, paraissait exister au point de vue du fonctionnement, en faveur de l'appel par le bas est en réalité illusoire. D'ailleurs le système d'appel par le bas a l'inconvénient d'exiger une haute cheminée et d'importantes canalisations dans le sol, ce qui n'est pas toujours réalisable; de plus il conduit à affaiblir les murs pour le passage des gaînes d'autant plus qu'on descend plus près du sol, ce qui est illogique.

Si on ajoute à cela que l'installation de ce système est souvent tout aussi coûteuse que celle d'appareils mécaniques d'insufflation, dont le fonctionnement est absolument sûr et relativement économique, on voit que l'appel par le bas n'a plus guère sa raison d'être que dans des cas tout à fait spéciaux.

Lorsqu'on peut ventiler par appel, ce qui n'est généralement admissible que pour des bâtiments peu importants, il vaut mieux recourir au système d'appel par le haut, dont le fonctionnement n'est pas en pratique plus coûteux que celui des deux autres systèmes et qui permet une installation économique que ne comporterait pas l'appel par le bas.

1205. Chauffage des cheminées d'appel. — Quel que soit le système employé, il faut, si on veut avoir une ventilation régulière en tout temps, chauffer l'air à la base de la cheminée

d'appel. On peut employer pour cela plusieurs moyens.

Foyer direct. — On place à la base de la cheminée un foyer à grille qui occupe une faible partie de la section. L'air brûlé se mélange avec l'air appelé dont il faut, en général, élever la température de 20° à 25°, pour obtenir un tirage suffisant.

Pour assurer le mélange de l'air et des produits de la combustion, M. Grouvelle dispose le foyer dans une cloche en fonte. Un tuyau partant du sommet de la cloche amène les produits de la combustion dans une couronne en fonte pourvue d'ajutages qui répartissent ces produits sur toute la section et assurent le mélange.

Un moyen très simple et très employé de chauffer l'air de ventilation consiste à utiliser la chaleur des produits de la combustion d'un calorifère à air chaud servant au chauffage, en faisant passer le tuyau de fumée au milieu de la cheminée d'appel. Ce procédé a l'avantage d'éviter la dépense d'entretien et de fonctionnement d'un foyer spécial, mais il ne peut servir que l'hiver et quand on y a recours son efficacité n'est pas toujours suffisante.

On prolonge le tuyau de fumée au-dessus du faîte de la cheminée de ventilation, pour éviter de mélanger la fumée avec l'air venant des pièces ventilées, sinon, sous l'influence des vents, il peut se produire quelquefois, quoique rarement, des courants en sens inverse qui ramènent la fumée dans les pièces. Afin d'augmenter la surface de chauffe du tuyau, on peut le diviser en plusieurs branches verticales et interposer un registre dans la branche centrale. Cette division d'un tuyau ascendant de fumée est peu recommandable parce que la totalité des gaz chauds peut passer dans l'une des branches seulement, et qu'alors les autres n'ont plus aucune action.

Becs de gaz. — On peut produire l'appel au moyen de la combustion du gaz qui est un combustible commode, mais d'un prix de revient élevé. L'emploi du gaz n'exige pas d'apport de combustible, pas de chauffeur, pour surveiller et entretenir le feu, etc. Les lieux d'aisances du chemin de fer du Nord sont ventilés au moyen de cheminées d'évacuation à la

base de chacune desquelles on dispose, dans une petite niche vitrée sur le devant, un bec de gaz qui sert à la fois pour l'éclairage et la ventilation. Des dispositions analogues ont été prises pour éclairer pendant la nuit des salles d'hospices, des dortoirs de lycées, etc... Le gaz dépensé pour l'éclairage concourt dans une certaine mesure à assurer l'aération des locaux.

Récipients d'eau chaudes. — On s'est aussi servi pour le chauffage des cheminées de ventilation de récipients pleins de vapeur ou d'eau chaude, chauffant par contact l'air appelé. Ce moyen dispense de l'entretien d'un foyer, mais il conduit à installer des surfaces de chauffe très considérables dont le prix est assez élevé. On calcule la surface de chauffe S en admettant qu'il y a 8 à 10 calories transmises par mètre carré par heure et par degré de différence de température.

$$S = \frac{C}{8(T - t)}.$$

C nombre de calories à fournir;
T température de l'eau ou de la vapeur;
t température moyenne de l'air.

1206. Calcul des dimensions des cheminées d'appel et des appareils de chauffage de l'air de ventilation. — Les dimensions d'une cheminée d'appel doivent être calculées pour donner passage au volume d'air nécessaire à la ventilation, sous l'action du tirage déterminé par l'élévation de température. On a pour cela, dans le cas d'une cheminée simple

$$V = \Omega v \quad \text{et} \quad v = \sqrt{\frac{2g\alpha H(T - \theta)}{(1 + \alpha\theta)(1 + R)}}$$

relations dans lesquelles on désigne par
V le volume d'air que la cheminée doit aspirer par 1″,
Ω la section de la cheminée en mètres carrés,
v la vitesse en mètres par 1″,
H la hauteur de la cheminée en mètres,
T la température de l'air dans la cheminée,

θ la température extérieure,
R coefficient total de résistance au mouvement,
α coefficient de dilatation des gaz (0,00367),
g intensité de la pesanteur (9,8088).

Lorsque l'air monte ou descend dans plusieurs conduits verticaux successifs où il y a des températures différentes, la vitesse est donnée par la relation (page 693) :

$$v=\sqrt{\frac{2gx}{1+R}[H(T-\theta)\pm h(t-\theta)]}$$

h étant la hauteur des conduits dans lesquels l'air se meut à la température de $t°$; on prend la hauteur h positivement quand l'air monte, et négativement quand il descend.

La cheminée devant fonctionner l'été et l'hiver, ses dimensions doivent être calculées pour suffire dans les conditions les plus défavorables. Pour l'appel par le haut et à niveau, h étant positif, le minimum de vitesse a lieu quand $t-\theta=o$, c'est-à-dire en été. Dans l'appel par le bas, h est négatif; on établit la cheminée pour le cas où $t-\theta$ est maximum, c'est-à-dire pour l'hiver.

La dépense de chaleur pour produire le tirage dans une cheminée où les gaz ont un excès de température $T-t$ sur l'air qu'il s'agit d'appeler est $M=V\,d\,c\,(T-t)$.

Elle est proportionnelle à l'écart de température et on dépense d'autant moins de combustible que cet excès sera moins élevé. D'un autre côté, la vitesse des gaz dans la cheminée est d'autant plus faible que cet excès est plus faible lui-même, et pour ne pas exagérer les sections de passage qui sont en raison inverse des vitesses, et aussi pour donner au courant une stabilité suffisante, il convient de ne pas descendre au-dessous d'une certaine limite. On a remarqué en pratique qu'il ne fallait pas se tenir au-dessous d'une vitesse de $1^m,50$ et que pour cela, avec les hauteurs de cheminées et les résistances ordinaires, l'excès de température ne devait pas être inférieur en général pendant l'été à 20 ou 25°. Le tableau, page 699, donne ces excès de température suivant les températures extérieures pour un bâtiment de quatre étages établi dans des conditions déterminées.

Si on se donne *a priori* la vitesse v que l'air appelé doit avoir au sommet de la cheminée, la section de la cheminée se détermine simplement par la formule :

$$\Omega = \frac{V}{v}.$$

Supposons qu'on veuille ventiler à raison de 30 mètres cubes par heure et par individu, une enceinte renfermant 600 personnes; il faudra évacuer par seconde:

$$V = \frac{600 \times 30}{3600} = 5^{mc}$$

et en prenant $v = 1^m,50$
on trouvera :

$$\Omega = \frac{5}{1,5} = 3^{m2},33 \qquad \text{d'où} \qquad D = 2^m,06.$$

C'est la section de la cheminée du Conservatoire des arts et métiers qui doit assurer la ventilation d'un amphithéâtre pouvant contenir 600 personnes.

La hauteur de la cheminée est ordinairement déterminée par des conditions architecturales. En principe, il faut la faire aussi grande que possible.

De la section Ω, on déduit les dimensions de tous les conduits qui viennent aboutir à la cheminée et dont la section totale ne doit pas être inférieure à Ω. On fait même, en général, cette section totale un peu supérieure à Ω, en la calculant d'après le volume qui doit y passer et en comptant sur une vitesse de $1^m,30$ ou même de 1 mètre. Plus les sections des conduits seront grandes, plus la résistance au mouvement sera faible, mais on est limité par la dépense d'établissement et par l'encombrement.

Pour calculer la dépense de combustible et les dimensions de l'appareil de chauffage on se sert des formules du n° **1202**:

$$M = 3600 V dc(T - t) \quad \text{et} \quad T - t = \frac{v^2(1 + R)}{2gzH} - \frac{H \pm h}{H}(t - \theta).$$

Soient : $V = 5^{m3}$ par $1''$ et $T - t = 20°$; $d \times c = 0,305$ pour l'air.
On a

$$M = 3600 \times 5 \times 0,305 \times 20 = 109800^{cal}.$$

La puissance des appareils de chauffage doit évidemment être calculée pour le maximum de M et ce maximum a lieu pour l'été quand $t - \theta = 0$; on a alors simplement

$$T - t = \frac{v^2(1 + R)}{2g\alpha H}.$$

Pour $v = 1,50$ on a $T - t = 31,25 \frac{1 + R}{H}$

Pour calculer $T - t$, il faut connaître R.

La résistance R se calcule d'une manière générale comme nous l'avons dit aux n^{os} **178** et suivants. Comme ce sont surtout le frottement et les coudes qui la produisent, elle peut en général être exprimée par la relation simple :

$$R = \frac{4KL}{D} + n \quad \text{ou} \quad R = \Sigma \frac{4KL}{D} + n.$$

L étant la longueur développée des conduits parcourus par l'air ;
D leur diamètre ou le côté de leur section lorsqu'elle est carrée ;
K le coefficient de frottement qu'on peut prendre égal à 0,015 ;
n le nombre de coudes à angle droit ou l'équivalent.

La première formule suppose que la section reste constante.

La seconde s'applique au cas où, par suite de la réunion de divers conduits, la section varie, la vitesse étant toujours sensiblement constante.

Si la vitesse n'était pas constante, on calculerait R par les formules des n^{os} **102** et suivants.

Il est évident que le calcul de R doit être fait pour le conduit qui offre le plus de résistance.

Quand on connaît la quantité M maxima de chaleur à four-

nir, il est facile de calculer les dimensions de l'appareil de chauffage.

1207. Appareil de chauffage de la cheminée d'appel. — Lorsque le chauffage se fait au moyen d'un foyer placé à l'intérieur de la cheminée, l'utilisation de la puissance calorifique du combustible est à peu près complète. Les gaz de la combustion se mélangent immédiatement avec l'air aspiré et la transmission est aussi directe que possible. Il ne doit y avoir qu'une perte peu sensible par les parois, si les précautions contre le refroidissement ont été bien prises.

En appelant ρ le rendement, qui peut être considéré comme sensiblement égal à 0,90, on a la relation :

$$\rho p s N = V d c (T - t)$$

dans laquelle on désigne par :

p le poids de combustible brûlé par mètre carré de grille et par heure ;

s la surface de la grille ;

N la capacité calorifique du combustible ;

V le volume d'air appelé ;

d la densité de l'air ;

c sa capacité calorifique ;

$T - t$ l'écart de température entre l'air de la cheminée et celui de l'enceinte à ventiler.

On déduit de cette équation le poids de combustible à brûler par heure.

$$ps = \frac{V d c (T - t)}{\rho N} = \frac{M}{\rho N}.$$

En se servant de houille pour laquelle

$$N = 8000, \quad \rho N = 7200 \quad \text{et} \quad ps = \frac{M}{7200}.$$

En prenant **1206** M = 109 800, il vient :

$$ps = 15^{k},25.$$

Si le prix de la tonne de houille est de 40 francs, la dépense

horaire atteindra $0^{fr},61$ et la dépense totale $14^{fr},60$ par jour de vingt-quatre heures.

Dans les foyers d'appel, la combustion est ordinairement lente; en prenant $p = 50$ kilogrammes par mètre carré et par heure, on trouve pour la surface de la grille

$$s = \frac{15,25}{50} = 0^{mq},305.$$

En supposant que la grille soit rectangulaire, on pourrait lui donner 0,50 de large sur 0,61 de long.

La ventilation ayant été supposée de 18 000 mètres cubes à l'heure et la dépense de charbon étant de $15^{k},25$, on voit qu'il faut brûler un kilogramme de houille pour assurer l'évacuation de 1200 mètres cubes d'air environ.

Quand le chauffage se fait au moyen de becs de gaz, on emploie la même formule pour déterminer le poids ps de combustible à brûler. La puissance calorifique de 1 kilogramme de gaz étant 10 000 environ, on a, pour le cas particulier ci-dessus $ps = \frac{109800}{10000} = 10^{k},98$, et, comme un mètre cube de gaz pèse $0^{k},52$, il faudra environ 20 mètres cubes pour le chauffage de l'air de ventilation.

Si on emploie des becs brûlant 140 litres, il faudra une couronne de $\frac{20000}{140} = 143$ becs. La ventilation à produire étant évaluée à 18 000 mètres cubes, la dépense de gaz à 20 mètres cubes, on voit qu'un mètre cube de gaz permet d'évacuer 900 mètres cubes d'air.

La dépense par heure serait $20 \times 0^{f},30 = 6$ francs par heure, soit 144 francs par jour. Le chauffage par le gaz est excessivement cher, il ne peut être employé qu'exceptionnellement et pour de faibles volumes d'air.

Si on divise les becs de gaz de manière à en placer un dans chaque gaîne montante, on peut obtenir une vitesse de $1^{m},80$ environ dans les conditions de hauteur et de résistances que nous avons supposées pour former le tableau (**1201**). Pour

élever la température de 24° il faudrait un poids de gaz ps tel que

$$10000ps = \Omega \times 1,80 \times 0,305 \times 24^\circ \times 3600,$$

faisant $\Omega = 1$, il vient $ps = 4,740$, ce qui correspond à un volume de $\frac{4,74}{0,52} = 9^{m3},10$, c'est-à-dire environ 9 mètres cubes de gaz par mètre carré de section ou 90 litres par décimètre carré.

Pour une gaine de $0,20 \times 0,20$, la dépense de gaz sera de 360 litres par heure et le volume d'air écoulé sera 259 mètres cubes par heure. Le volume d'air évacué sera de 700 mètres cubes environ par mètre cube de gaz brûlé.

Quand le chauffage s'effectue au moyen d'appareils à vapeur, celle-ci étant à la température de 100°, on peut admettre environ 1000 calories (**120**) transmises par mètre carré de surface de chauffe pour une vitesse de 1 mètre. On aura donc pour la surface S nécessaire.

$$S = \frac{Vdc(t-\theta)}{1000} = \frac{M}{1000}.$$

Dans le cas particulier que nous avons considéré, $M = 109800$ calories. On voit qu'il faut une surface chauffante de $109^{m2},80$, ce qui entraîne une importante dépense d'installation. La quantité de vapeur condensée serait égale à $\frac{109800}{550} = 220$ kilogrammes. La production de cette vapeur nécessiterait la combustion d'environ 30 kilogrammes de houille dans les générateurs. La dépense serait environ double de celle exigée par un foyer direct.

Pour évacuer 18000 mètres cubes d'air par heure, il faut installer une surface chauffante à vapeur de $109^{m2},80$; la ventilation par mètre carré de surface chauffante est un peu inférieure à 200 mètres cubes par heure.

Dans le chauffage au moyen de récipients d'eau chaude, dont les parois sont à une température relativement faible, la transmission par mètre carré l'est aussi. L'eau étant à 60° on peut compter sur 420 calories pour la transmission qui est d'environ 1000 calories [**122**] à 100°.

§ IV

VENTILATION MÉCANIQUE.

1208. — Une cheminée d'appel dans laquelle la température ne dépasse que de 20° à 30° celle de l'air extérieur, comme c'est le cas ordinaire ainsi que nous l'avons indiqué n° **1202** ne peut produire qu'une dépression de quelques millimètres d'eau. C'est ainsi qu'une cheminée de 30 mètres de hauteur renfermant de l'air à une température de 30° supérieure à celle de l'extérieur, conditions extrêmes qu'on réalise bien rarement, ne produit à sa base qu'une dépression de $0^{m},00387$ (moins de 4 millimètres) d'eau.

Dans ces conditions, on ne peut faire parcourir à l'air de grandes distances qu'en donnant aux conduits des dimensions exagérées qui entraînent des frais considérables de premier établissement.

D'ailleurs, avec une cheminée, on ne peut ventiler que par aspiration et nous avons exposé plus haut que ce procédé présentait des inconvénients dans bien des cas. A moins donc de raisons toutes spéciales, chaque fois qu'il s'agira de ventiler un édifice important, on aura recours aux appareils mécaniques qui permettent à la fois d'employer des conduits de section relativement faible et de ventiler par insufflation.

Les appareils mécaniques employés sont presque exclusivement des ventilateurs soit hélicoïdaux, soit à force centrifuge. Ces deux sortes d'appareils sont très simples de construction, d'un entretien facile, d'un prix peu élevé et d'une durée presque illimitée. Ils remplissent parfaitement les conditions spéciales auxquelles ils doivent répondre, c'est-à-dire fournir de grands volumes d'air sous de faibles pressions. Nous les avons étudiés au chapitre VII, tome Ier.

Les ventilateurs peuvent agir soit par insufflation, soit par aspiration. Dans le premier cas, le ventilateur puise l'air dans l'atmosphère et le refoule, par des conduites plus ou moins longues, dans les locaux à ventiler.

Quand le ventilateur agit au contraire par aspiration, l'air pénètre de l'extérieur dans le local à ventiler, par des orifices et des conduits convenablement répartis; il est ensuite aspiré dans d'autres conduits branchés sur un collecteur général aboutissant à l'ouïe du ventilateur; de là il est rejeté dans l'atmosphère.

Nous avons vu (526) que le travail d'une calorie avec un ventilateur rendant 50 p. 100 était de 17 à 18 fois plus considérable que celui d'une calorie dans une cheminée de 30 mètres de hauteur, et dans laquelle les gaz avaient une température de 20° supérieure à celle de l'atmosphère. C'est là un avantage incontestable; par contre un ventilateur exige l'emploi d'une force motrice, électricité, air comprimé, vapeur, etc.

Dans les villes où il existe des canalisations pour le transport de l'énergie, cela n'est nullement gênant; mais, dans bien des cas, on peut être forcé d'installer un moteur spécial pour le ventilateur. Lorsque, pour une raison ou pour une autre, on ne peut installer d'appareils mécaniques, on est alors conduit à faire usage d'une cheminée, qui n'exige qu'un foyer facile à conduire par le premier venu et ne comportant que très peu d'entretien et de surveillance.

D'une manière générale on peut dire que, dans un grand établissement, c'est toujours la ventilation mécanique qu'il convient d'employer, car les frais nécessités par le fonctionnement sont très considérables quand on emploie des cheminées.

Si, par exemple, on a trouvé qu'il fallait une pression de $0^m,02$ d'eau pour vaincre les résistances et avoir la vitesse voulue (c'est à peu près ce qui existe à l'hôpital Lariboisière pour une vitesse de 10^m), on trouve que, pour 20° de différence de température entre l'extérieur et l'intérieur, la dépression produite par une cheminée est 0,000088 d'eau par mètre de hauteur, de sorte que pour avoir 0,02 il faudrait 227 mètres. En pratique, on ne rencontre de semblables cheminées que dans les mines.

Avec une cheminée de 50 mètres et on en fait peu d'aussi hautes, il faudrait une différence de 125° pour obtenir cette

dépression de $0^m,02$, et pour faire circuler 36000 mètres cubes par heure, soit 10 mètres cubes par $1''$, comme à Lariboisière, il faudrait brûler par heure

$$\frac{36000 \times 1,3 \times 0,2377 \times 125^\circ}{7000} = \frac{1400000}{7000} = 200 \text{ kilogr. de houille.}$$

Avec un ventilateur, on pourrait obtenir ce même résultat avec une machine de 8 chevaux en consommant environ $2^k,50 \times 8 = 20$ kilos, soit 10 fois moins.

On voit le grand avantage que présente l'emploi des ventilateurs dans le cas de fortes pressions et de vitesses considérables. Pour les faibles pressions et les petites vitesses cet avantage se réduit notablement.

1209. Ventilation du tunnel de Liverpool. — La voie du chemin de fer « London and North Western railway » passe sous la ville de Liverpool, dans un tunnel d'environ 1850 mètres de longueur, qui présente une pente d'un peu plus de 0,01 par mètre.

Pendant longtemps, sur cette portion du parcours, les trains étaient remorqués à la montée au moyen d'un câble et leur descente s'effectuait sous l'action de la pesanteur avec les précautions convenables pour éviter une accélération dangereuse.

Mais, il y a vingt ans, les exigences toujours croissantes du trafic forcèrent à renoncer à cette méthode qui était trop lente et à recourir à la traction directe par des locomotives à feu.

Comme conséquence immédiate de cette résolution, il fallut se préoccuper des moyens d'assurer le renouvellement de l'air et l'enlèvement de la vapeur et de la fumée dans cette longue galerie d'environ 2 kilomètres.

On avait d'abord pensé ouvrir de place en place le souterrain à l'air libre et à le diviser ainsi en une série de tunnels suivis de tranchées, ce qui aurait permis, jusqu'à un certain point. de compter sur une ventilation naturelle. Mais, outre que ce procédé n'aurait pas été d'une efficacité assurée, il aurait entraîné à d'énormes dépenses, le tunnel passant à une grande

profondeur sous une partie de la ville couverte de constructions importantes et d'une valeur considérable.

De plus, les dégagements, de fumée et de vapeur par les tranchées, auraient pu donner matière à des contestations et des procès. On renonça donc à cette idée et on résolut de recourir à la ventilation mécanique.

Voici, d'après M. Ramsbottom, en quoi consiste l'installation (fig. 666).

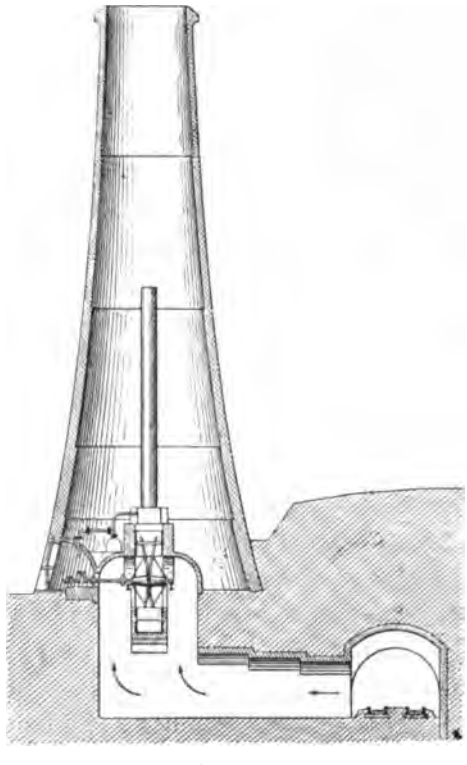


Fig. 666.

Vers le milieu à peu près du tunnel, et un peu au sud, on a percé un puits descendant jusqu'au niveau des rails; la base du puits est reliée au tunnel par une galerie transversale de 13 mètres de longueur, présentant une section de $30^{m2},20$.

Dans le puits, à une hauteur de 9 mètres environ au-dessus des rails, est placé un grand ventilateur enfermé dans une construction en briques et conduit par une paire de machines horizontales.

Le ventilateur et les machines sont situés à la base d'une cheminée dont l'extrémité supérieure est à 60 mètres au-dessus du niveau des rails et qui a à sa base $16^{m},50$ de diamètre et à son sommet 7 mètres.

Le ventilateur est formé de douze ailes planes disposées radialement autour d'un axe horizontal auquel elles sont reliées par des cornières et d'une série de tirants de consolidation, prenant

leurs points d'appui sur deux tourteaux placés aux extrémités de l'arbre.

Les ailes ont $2^m,30$ de large et $2^m,20$ de long; l'ensemble constitue une sorte de roue à aubes planes ayant 9 mètres de diamètre; la section totale d'entrée de l'air dans le ventilateur à la base des ailes, est d'environ 33 mètres. La partie centrale est presque entièrement utilisée pour le passage de l'air, l'obstruction causée par les cornières et les tringles de consolidation étant presque nulle. L'enveloppe du ventilateur présente une première partie concentrique à la roue à ailettes, suivie d'un épanouissement qui offre une large section pour la sortie des gaz; il y a 0,100 de jeu entre les extrémités des palettes et la partie concentrique de l'enveloppe en brique; ce jeu est réduit à 0,025 sur les côtés.

On a constaté que, le ventilateur tournant à 45 tours, le tunnel était dans toute sa longueur débarrassé de vapeur et de fumée huit minutes après l'entrée d'un train mettant trois minutes à gravir le souterrain.

Le puits ne doit pas déboucher juste au milieu de la longueur du tunnel, autrement la moitié inférieure serait purgée de fumée avant l'autre moitié, puisque celle-ci est souillée pendant tout le temps que le train circule entre le débouché du puits et la station supérieure, tandis que pendant tout ce temps la partie basse ne reçoit plus ni vapeur ni fumée.

On a bien tenu compte de ce fait, mais comme, d'autre part, la position précise du puits a été déterminée par des considérations d'économie dans l'acquisition des terrains nécessaires; on a dépassé la mesure et il se produit l'inverse de ce qu'on voulait éviter, c'est-à-dire que c'est la moitié supérieure qui se trouve actuellement nettoyée avant l'autre. L'inconvénient n'est du reste pas bien grave.

Des observations faites à diverses reprises ont montré que le volume d'air débité en $1''$ par le ventilateur dans les conditions ci-dessus indiquées était d'environ 203 mètres cubes; on a simultanément pris la pression de l'air en quatre points différents et trouvé les résultats moyens suivants :

Dépression dans le tunnel à 10 mètres environ de la galerie transversale.	0.003556
Dépression à la sortie de la galerie transversale.	0.006858
— à l'orifice d'entrée du ventilateur. . .	0.012716
Pression à l'orifice de décharge du ventilateur. . .	0.004826

De ces nombres, il résulte évidemment qu'une grande partie de la résistance totale au mouvement est éprouvée par l'air après qu'il a quitté le tunnel et qu'il entre dans la galerie transversale.

La dépression à l'orifice d'entrée du ventilateur étant 0,0127, le travail en chevaux pour appeler l'air au ventilateur est théoriquement de 34,4 chevaux et en prenant la pression à l'orifice de décharge comme étant de 0,005, le travail en chevaux nécessaire pour refouler les gaz depuis le ventilateur jusqu'au sommet de la cheminée est de 13,5 chevaux.

Le travail total théorique à développer est donc de 48 chevaux.

Nous avons dit que les trains descendaient seulement sous l'action de la gravité, sans donner lieu par conséquent à un dégagement bien sensible de vapeur ni de fumée : aussi le ventilateur ne fonctionne que pendant le passage des trains montants.

Comme il s'écoule généralement un temps assez long entre le passage de deux trains montants consécutifs et que le tunnel est nettoyé en huit minutes, on ne fait marcher le ventilateur que lorsque cela est nécessaire. A cet effet, on a placé dans la chambre de la machine une sonnette électrique qui peut être commandée depuis la station située au bas du tunnel. Quand un train quitte cette station, on sonne le mécanicien qui, à ce signal, met en train le ventilateur puis l'arrête aussitôt que les gaz évacués sont tout à fait clairs, ce qui montre qu'il ne reste plus ni fumée ni vapeur dans le tunnel.

Le rendement dynamométrique de ce ventilateur ne serait paraît-il que de 23 p. 00, ce qui est bien peu, puisque M. Tresca a trouvé que le rendement d'un ventilateur à force centrifuge

bien étudié et soigneusement construit, pouvait atteindre 82,8 p. 100.

Lorsque le ventilateur ne fonctionne pas, le renouvellement de l'air se fait cependant, sous l'action du tirage de la cheminée; mais il est peu rapide. Pour l'activer on envoie dans la cheminée d'évacuation les gaz chauds provenant des chaudières fournissant la vapeur à la machine du ventilateur. Dans ces conditions l'installation mécanique ne fonctionnant pas, il faut quarante-cinq minutes pour nettoyer le tunnel.

Il est intéressant de chercher quel est le coefficient de frottement de l'air sur les parois maçonnées du tunnel.

La formule générale de la perte de charge par le frottement est :

$$E = \frac{Kl\chi}{\omega} \frac{dv^2}{2g}.$$

Dans le tunnel de Liverpool, la vitesse dans la partie basse (longue de 1 108 mètres) est $v = 2,305$ et, dans la partie haute (longue de 743 mètres) $v = 2.782$.

On a

$$E = 0,0035 \qquad \chi = 24 \qquad \omega = 40^{m2}$$
$$\frac{d}{2g} = \frac{1}{16000}$$

On trouve ainsi pour la partie basse :

$$K = \frac{0,0035 \times 40 \times 16000}{1108 \times 24 \times (2,305)^2} = \frac{2240}{141283} = 0,0158$$

et, pour la partie haute :

$$K = \frac{0,0035 \times 40 \times 16000}{743 \times 24 \times (2,782)^2} = \frac{2240}{138019} = 0,0162.$$

Toutefois il y a des réserves à faire sur la dépression (0,0035) qui n'a pas été constatée avec une bien grande précision.

§ V

CHAUFFAGE.

1210. Exposé général de la question. — Comme nous l'avons déjà fait remarquer, les fonctions vitales ne peuvent normalement s'exercer chez l'homme qu'autant que la température de son corps reste comprise entre 37° et 38°. Cette température tend toujours à s'élever sous l'influence de la chaleur résultant de la respiration; mais la transpiration, au contraire, a pour effet de l'abaisser; enfin, les causes extérieures agissent soit dans un sens, soit dans l'autre. Pour que la vie puisse se maintenir, il faut qu'il y ait toujours sensiblement équilibre entre la chaleur produite et celle qui est dépensée.

Dans l'état de santé, c'est la transpiration qui est le régulateur naturel de la température de notre corps, s'augmentant ou se réduisant d'elle-même, selon que cela est utile. Cet équilibre nécessaire ne peut pourtant être obtenu par ce moyen si simple qu'à la condition que la température extérieure ne soit ni trop élevée ni trop basse.

Dans nos climats, la température de l'atmosphère ne s'élève jamais assez pour que l'homme ne puisse, avec quelques precautions, se préserver d'un excès nuisible de chaleur; il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit du froid. Au dehors, l'exercice, combiné avec l'emploi de vêtements chauds, suffit pour éviter un refroidissement dangereux de notre corps; mais, dans les habitations, en raison de l'état de repos dans lequel on se tient ordinairement, il est indispensable, pendant plusieurs mois de l'année, de recourir à des moyens artificiels de chauffage.

La quantité de chaleur que les appareils de chauffage doivent fournir dépend des températures intérieure et extérieure, en même temps que des dimensions et de la nature des parois refroidissantes.

1211. Température intérieure des lieux habités. — Il est impossible de fixer quelle est la température la plus

convenable pour un lieu habité. Non seulement, en effet, la même température n'affecte pas de la même manière des personnes différentes, mais encore, elle n'agit pas également sur le même individu à des instants différents. La quantité et la nature des aliments ingérés, surtout des boissons, l'état musculaire plus ou moins surexcité par un exercice antérieur, le travail physique ou intellectuel, etc., sont autant de causes qui influent sur notre susceptibilité à cet égard.

Deux personnes placées dans des conditions identiques, éprouvent, sous l'action de la même température, des impressions différentes suivant leur tempérament, leur âge, leurs habitudes, leurs vêtements, le climat des pays qu'elles ont habités antérieurement; l'usage des ablutions froides paraît aussi exercer une influence marquée à cet égard.

Enfin, le plus léger trouble dans la santé, un simple malaise, nous rendent particulièrement impressionnables aux influences atmosphériques.

En présence de causes si diverses, si variées, il n'y a pas lieu d'espérer que plusieurs personnes réunies se trouvent être du même avis sur la température; et il arrive tous les jours que, dans une salle d'assemblée, deux personnes, placées tout à côté l'une de l'autre, se plaignent simultanément l'une du froid, l'autre du chaud.

On ne saurait donc, pour régler la température dans un lieu occupé par un grand nombre de personnes, s'en rapporter exclusivement aux opinions individuelles; il faut, dans chaque cas, apprécier, au moyen de thermomètres, la température qui paraît satisfaire le plus grand nombre et se baser là-dessus pour la conduite des appareils de chauffage.

Les indications d'un même thermomètre peuvent différer beaucoup suivant la place qu'il occupe dans la salle dont on recherche la température.

En général, mais surtout dans les locaux chauffés à l'air chaud, la température croît à mesure qu'on s'élève vers le plafond. On constate quelquefois, entre les températures prises au niveau du sol et celles observées à quelques mètres au-des-

sus, des différences très considérables, pouvant atteindre 10° et même davantage. Ces écarts, qui résultent de ce que l'air le plus chaud tend toujours à gagner la partie supérieure des enceintes, sont d'autant plus considérables que la ventilation est moins active et que l'air est introduit à une température plus élevée.

La hauteur qui paraît la plus convenable pour placer les thermomètres est celle de la tête, qui est environ à $1^m,50$ ou $1^m,60$ au-dessus du sol, c'est aussi la plus commode pour la lecture. Il faut éviter de placer un thermomètre trop près d'une fenêtre, car les indications qu'il fournirait dans ces conditions seraient notablement trop faibles. De même, on n'aurait nullement la température d'une salle en consultant un thermomètre accroché contre la face interne d'une paroi exposée à l'action refroidissante de l'atmosphère. Dans ce dernier cas, on a souvent le soin de fixer, derrière la planchette, deux tasseaux dans le but d'éloigner davantage du mur le thermomètre indicateur. Malgré ces précautions, on constate des écarts qui peuvent parfois atteindre deux à trois degrés entre la température observée dans le voisinage du mur et celle relevée au milieu de la salle.

Il est évident qu'il faut se garder de placer le thermomètre à proximité des appareils de chauffage ou contre les parois des conduits d'air chaud ou de fumée montant aux étages supérieurs. On aurait des indications tout à fait fausses, l'erreur étant cette fois par excès.

Autant que possible, il convient de le suspendre à un meuble vers le milieu de l'enceinte. On peut encore, au besoin, le placer contre un mur séparant deux locaux à peu près à la même température; mais, lorsque ces locaux sont soumis à un régime de chauffage alternatif, le mur de séparation présente aussi, bien qu'à un degré moindre, les inconvénients des murs froids et influence le thermomètre.

Il ne faudrait pas croire d'ailleurs qu'un thermomètre placé au milieu d'une enceinte indique la température de l'air qui la remplit. Le thermomètre, comme tous les corps qui s'y trouvent, est soumis à la fois à l'action du contact de l'air ambiant

et à celle du rayonnement sur les parois et autres objets. Si, d'un côté, l'air tend à lui communiquer par contact la température qu'il possède, de l'autre, le thermomètre rayonnant sur les parois, tend à prendre leur propre température qui est généralement plus basse que celle de l'air et il indique une température intermédiaire ; mais, en fait, cette indication est bonne car, ce qu'il importe de constater, ce n'est pas la température de l'air, mais bien l'ensemble des actions calorifiques sur les personnes qui se trouvent dans l'enceinte, et, sous ce rapport, le thermomètre fournit des indications assez exactes, parce qu'il est soumis à peu près aux mêmes influences que les personnes elles-mêmes.

La température qu'il convient de maintenir dans un lieu habité dépend de sa destination. D'après le général Morin, « dans les lieux abondamment ventilés et sous l'action du renouvellement continu de l'air, l'on supporte facilement et même on trouve convenables des températures plus élevées que celles par lesquelles on serait incommodé dans des locaux où l'air n'est pas renouvelé. » Cependant les températures intérieures ne doivent pas dépasser les valeurs suivantes :

Températures à maintenir dans les lieux habités

Églises	12° à 14°
Ateliers, casernes	14° à 15°
Crèches, salles d'asiles, écoles	15° à 16°
Prisons	15° à 16°
Bureaux	16° à 17°
Hôpitaux	16° à 18°
Amphithéâtres de cours	16° à 18°
Salles d'assemblée	17° à 19°
Théâtres	19° à 20°

1212. Température extérieure. — Cette température extérieure varie dans de très grandes limites suivant la saison et le climat. A Paris les observations météorologiques ont donné

comme moyenne de soixante-quinze années les résultats suivants :

Températures moyennes mensuelles à Paris de 1806 à 1880.

	MOYENNES MENSUELLES.	VARIATION DES MOYENNES MENSUELLES.
Janvier	+ 2°,4	— 4°,4 (1838) à + 7°,1 (1834)
Février	4°,3	— 1°,0 (1827) à + 7°,8 (1809)
Mars	6°,5	+ 1°,3 (1845) à + 10°,2 (1880)
Avril	10°,2	+ 5°,7 (1837) à 15°,1 (1865)
Mai	14°,0	10°,6 (1879) à 17°,7 (1868)
Juin	17°,1	14°,5 (1869) à 21°,2 (1822)
Juillet	18°,9	15°,5 (1816) à 22°,7 (1859)
Août	18°,6	15°,5 (1844) à 22°,5 (1842)
Septembre	15°,7	13°,0 (1877) à 19°,4 (1865)
Octobre	11°,3	7°,3 (1817) à 14°,7 (1831)
Novembre	6°,5	3°,1 (1871) à 10°,6 (1852)
Décembre	3°,4	— 7°,4 (1879) à 8°,7 (1806)
Moyenne annuelle	10°,7	+ 8°,7 (1879) à + 14°,2 (1781)
Moyenne pour six mois d'hiver (du 15 octobre au 15 avril)		5°,6

Ce tableau fait voir que la moyenne mensuelle est assez variable d'une année à l'autre et que la différence peut atteindre 11°5 en janvier, d'où il résulte que les dépenses de chauffage peuvent varier notablement.

Pour les quinze premiers jours d'avril, la moyenne des températures, pendant soixante ans, est de 9°1 et pour les quinze derniers jours elle est de 10°7.

Dans le mois d'octobre, la moyenne de la première quinzaine est de 13°3 et celle de la seconde est de 9°9.

Le chauffage des lieux habités commence généralement vers le 15 octobre pour finir le 15 avril ; il a lieu aux époques où la température moyenne atmosphérique est au-dessous de 10°.

QUANTITÉ DE CHALEUR NÉCESSAIRE AU CHAUFFAGE DES LIEUX HABITÉS

1213. — Pour maintenir dans une enceinte une température plus élevée que celle de l'air extérieur, il faut constamment fournir une quantité de chaleur qui compense les pertes par transmission à travers les parois et par le renouvellement de l'air. C'est le but des appareils de chauffage dont les dimensions doivent être déterminées pour pouvoir donner cette quantité de chaleur dans les plus grands froids.

Lorsqu'on commence à chauffer une enceinte froide, la température s'élève progressivement et la transmission de la chaleur à travers les parois augmentant avec l'excès de température, si la source de chaleur est constante, il arrive toujours un moment où la chaleur perdue devient égale à la chaleur fournie par l'appareil de chauffage.

A partir de ce moment, si la température extérieure reste également constante, les corps qui se trouvent dans l'enceinte n'absorbent plus de chaleur la température des parois devient stationnaire et on dit que le *régime est établi*.

Ce qui caractérise l'état de régime, c'est qu'à raison de l'égalité entre la quantité de chaleur fournie à l'enceinte et les pertes de toutes natures à l'extérieur, les températures se maintiennent constantes en tous points.

Dans la période d'établissement de régime, cette égalité n'existe pas ; la chaleur fournie est employée non seulement à la transmission à travers les parois et au chauffage de l'air de ventilation, mais encore à l'élévation de la température de tous les corps, murs, meubles, etc., qui se trouvent dans l'enceinte.

Nous reviendrons plus loin sur ce sujet (**1225**).

Dans le cas d'un chauffage régulier et sans intermittence. comme pour les hôpitaux, etc., le régime ne s'établit qu'une fois à l'entrée de l'hiver et il n'y a pas à tenir compte de la chaleur nécessaire pour l'établir dans le calcul de la puissance des appareils et de la consommation de combustible ; mais quand

le chauffage est intermittent, il est nécessaire d'y avoir égard, et les appareils doivent être d'autant plus puissants que la température doit être plus rapidement relevée après chaque interruption du chauffage.

Nous considérerons deux cas :

1° Le chauffage continu avec régime établi ;

2° Le chauffage intermittent.

1214. Chauffage continu avec régime établi. — Quand le régime est établi dans une enceinte, la quantité de chaleur à fournir doit seulement compenser les pertes qui sont de deux natures :

1° La chaleur P qui passe par transmission à travers les parois de l'enceinte, murs, vitres, portes, sol, plafond ;

2° La chaleur U emportée par l'air de ventilation qui s'échappe à une température plus élevée que celle de l'air extérieur.

De sorte qu'en désignant par M la chaleur totale perdue, on a

$$M = P + U. \qquad [1]$$

Dans les lieux habités, il y a certaines causes de production de chaleur, telles que la respiration des personnes, le fonctionnement des appareils d'éclairage. Il suffit, pour assurer le chauffage, de fournir la différence entre la chaleur totale perdue et celle produite par ces différentes sources.

Désignons par :

R la chaleur dégagée par la respiration des personnes qui se trouvent dans l'enceinte ;

E la chaleur résultant de l'éclairage ;

C la chaleur que doivent fournir les appareils de chauffage et qu'il s'agit de calculer ;

Quand le régime est établi, on a l'égalité :

$$M = R + E + C$$

et par conséquent :

$$P + U = R + E + C \qquad [2]$$

d'où on déduit pour la chaleur que doivent fournir les appareils de chauffage :

$$C = P + U - (R + E). \qquad [3]$$

C'est la différence entre les chaleurs perdues et les chaleurs dégagées dans l'enceinte.

Nous allons déterminer successivement chacune des quantités qui donnent la valeur de C.

1215. Chaleur transmise à travers les parois P. — La chaleur transmise à travers une paroi est donnée par les formules que nous avons établies aux numéros **89** et suivants et que nous reproduisons :

$$P = SQ(t - \theta). \qquad [4]$$

S, surface de la paroi en mètres carrés ;
t, température intérieure de l'enceinte ;
θ température extérieure de l'autre côté de la paroi ;
Q coefficient de transmission qui est donné par la relation :

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{k} + \frac{e}{C} + \frac{1}{k'}.$$

e est l'épaisseur de la paroi en mètres,
C son coefficient de conduction (**72**),
k et k' sont des coefficients qui dépendent de la nature des surfaces de la paroi et qui sont donnés par les formules générales (**77**). Dans le cas particulier des lieux habités, les différences de température étant toujours assez faibles, on a simplement

$$k = r + f$$
$$k' = r' + f'$$

r est le coefficient de rayonnement de la surface intérieure de la paroi (**78**).
r' celui de la surface extérieure,
f et f' sont les coefficients de convection à l'intérieur et à l'extérieur (**79**).

Le plus souvent l'enceinte à chauffer est entourée de parois de natures différentes (murs, vitres, etc.), et exposées à des températures qui à l'extérieur peuvent ne pas être les mêmes de tous les côtés; pour avoir P, il faut calculer séparément la transmission pour chaque paroi et faire la somme des résultats partiels ainsi obtenus.

En désignant par s_1, s_2, s_3, les surfaces de chaque paroi, par q_1, q_2, q_3, le coefficient de transmission pour chacune d'elles calculé d'après sa nature, son épaisseur, etc., par la formule (89) et enfin par θ_1, θ_2, θ_3, les températures de l'autre côté de la paroi par rapport à l'enceinte chauffée, on a

$$P = s_1 q_1 (t - \theta) + s_2 q_2 (t - \theta_2) + s_3 q_3 (t - \theta_3) + \ldots$$

ou

$$P = \Sigma s q (t - \theta). \qquad [5]$$

Si on désigne par S la surface totale

$$S = s_1 + s_2 + s_3$$

et par Q un coefficient moyen tel que l'on ait

$$P = SQ(t - \theta)$$

la valeur de Q sera

$$Q = \frac{\Sigma s q (t - \theta)}{S(t - \theta)}. \qquad [6]$$

1216. Chaleur nécessaire pour chauffer l'air de ventilation. — L'air de ventilation qui circule dans l'enceinte est pris froid à l'extérieur à la température θ et sort à la température t de l'enceinte.

En désignant par V son volume en mètres cubes, par δ le poids du mètre cube en kilogrammes $= 1^k,293$ à 0° et sous la pression de 0,76 et par c la chaleur spécifique, on a

$$U = V \delta c (t - \theta) \qquad [7]$$

en désignant par U la chaleur nécessaire pour faire passer le poids V de θ° à t°.

La chaleur totale perdue par les parois et par la ventilation est

$$M = P + U \pm (SQ + V\delta c)(t - \theta). \qquad [8]$$

Elle est proportionnelle à l'excès de température de l'intérieur sur l'extérieur. Cette formule sert de base à tous les calculs de chauffage de lieux habités.

1217. Chaleur dégagée par la respiration. — La respiration produit une véritable combustion du carbone et de l'hydrogène de nos tissus, qui, en brûlant dégagent une certaine quantité de chaleur. Cette chaleur est, en partie, employée à maintenir la température de notre corps. Pour pouvoir la calculer exactement, il faudrait connaître sous quelle forme s'effectue la combustion du carbone et de l'hydrogène et c'est ce qu'on ignore.

Ces corps, en effet, fournis par les aliments qui ont une composition très complexe, se sont encore transformés dans l'acte de la digestion. Si on admet que la chaleur dégagée soit la même que s'ils brûlaient à l'air libre sous forme de carbone et d'hydrogène, on trouve les résultats suivants :

Carbone.....	$0^{kg},01139 \times 8080$	$= 92^{cal},13$
Hydrogène.....	$0^{kg},000496 \times 34462$	$= 17\ ,09$
		$109^{cal},22$

ce qui correspond, comme il est facile de s'en rendre compte, à une consommation de $34^{gr},34$ d'oxygène.

Une portion notable de cette chaleur est employée à vaporiser l'eau de la transpiration pulmonaire et cutanée. La chaleur latente de la vapeur à 37° étant environ 580, le nombre de calories absorbées pour $0^{kg},062$ de vapeur produite en moyenne par heure est :

$$0,062 \times 580 = 35,96.$$

Il reste donc :

$$109,22 - 35,96 = 73^{cal},26.$$

Comme il y a toujours une certaine quantité de chaleur absorbée par les aliments et surtout par les boissons, on peut

admettre que la chaleur transmise au milieu ambiant par le corps d'un adulte est de 70 calories.

Ce nombre varie dans d'assez grandes limites, suivant les circonstances.

Un adulte consommant $91^{gr},226$ d'oxygène par heure en effectuant un travail de $1^{kgm},72$ par seconde, dégage :

$$70 \times \frac{91,226}{34,34} = 70 \times 2,65 = 185^{cal},5$$

dont une partie $\frac{1,72 \times 3600}{425} = 13^{cal},91$ est absorbée par la production du travail.

Il reste $185,5 - 13,9 = 171^{cal},6$ disponibles. C'est environ deux fois et demie plus qu'à l'état de repos.

Pour un individu endormi (**1174**) la chaleur dégagée serait environ de $\frac{5}{6} \times 70 = 58^{cal},3$.

Pour les enfants, les vieillards et les femmes qui consomment moins d'oxygène, la chaleur produite doit être réduite dans le rapport de cette consommation à celle d'un adulte que nous avons prise pour base.

Pour un enfant de huit à dix ans, la chaleur dégagée est moitié de celle d'un adulte, environ 35 calories.

Pour un homme de 70 ans (**1174**) $\frac{9,5}{11,3} \times 70 = 0,840 \times 70 = 58^{cal},8$, environ 60 calories.

Une femme brûlant seulement $6^{gr},4$ de carbone produirait $\frac{6,4}{11,3} \times 70 = 0,566 \times 70 = 39^{cal},62$, environ 40 calories.

La chaleur dégagée par la respiration dépend du nombre de personnes qui se trouvent dans l'enceinte considérée, de leur âge, de leur sexe et des différentes circonstances que nous avons énumérées (**1174**).

En désignant par n_1, n_2, n_3, le nombre de personnes produisant respectivement les quantités de chaleur a_1, a_2, a_3, la chaleur dégagée R est donnée par la formule

$$R = \Sigma na. \qquad [9]$$

Les valeurs de a viennent d'être données pour les différents cas. Le plus souvent la quantité R est faible; mais, dans certaines circonstances, pour les lieux de réunion, les théâtres, etc., elle peut être considérable et ne doit pas être négligée. Elle est même quelquefois tellement forte qu'il faut prendre des dispositions pour atténuer ses effets.

1218. Chaleur dégagée par les appareils d'éclairage. — La chaleur E, dégagée par les appareils d'éclairage, se calcule d'après le nombre et la nature des appareils, becs de gaz, lampes, bougies. En désignant par a'_1, a'_2, a'_3, les nombres de calories dégagées par heure par chacun d'eux, par n'_1, n'_2, n'_3 leurs nombres respectifs, on a :

$$E = \Sigma' n' a'. \qquad [10]$$

Les valeurs de a' sont données au n° **1176**. Dans beaucoup de cas la valeur de E est négligeable, mais il en est d'autres où elle est importante et où il faut en tenir compte.

1219. Quantité totale de chaleur à fournir. — En portant ces valeurs dans l'équation (3) on a la formule générale qui donne la quantité de chaleur C à fournir pour maintenir dans l'intérieur d'un bâtiment habité une température déterminée t, celle de l'atmosphère étant θ,

$$C = (SQ + V\delta c)(t - \theta) - \Sigma na - \Sigma n' a'. \qquad [11]$$

S est la surface des parois en mètres carrés;
Q le coefficient moyen de transmission (éq. 5);
V le volume d'air qui passe par heure dans l'enceinte;
δ le poids d un mètre cube de cet air en kilogrammes;
c sa chaleur spécifique;
t la température intérieure en degrés centigrades;
θ la température extérieure;
Σna la chaleur dégagée par les occupants.
$\Sigma' n' a'$ la chaleur dégagée par les appareils d'éclairage.

Dans beaucoup de cas, on peut ne pas tenir compte des deux derniers termes, et on a plus simplement :

$$C = (SQ + V\delta c)(t - \theta).$$

La quantité de chaleur C à fournir par les appareils de chauffage est proportionnelle à la différence de température $(t-\theta)$ que l'on veut maintenir entre l'intérieur et l'extérieur.

Cette quantité C doit être évaluée pour deux valeurs particulières de la température.

La première correspond à la période des grands froids. C'est sur cette valeur (C_1) qu'on se base pour déterminer les dimensions des appareils de chauffage qui doivent être assez puissants pour fournir la chaleur nécessaire dans les hivers rigoureux.

On s'en sert aussi pour le calcul du maximum horaire de consommation de combustible, d'où on déduit la surface de la grille du foyer, la section et la hauteur de la cheminée, la surface de chauffe des chaudières ou autres récepteurs de chaleur.

La seconde valeur de la température est celle de la moyenne de l'hiver. La valeur de C correspondante (C_2) représente la quantité moyenne horaire de chaleur à fournir ; en la multipliant par le nombre annuel d'heures de chauffage, on a le nombre total des calories nécessaires pour assurer le chauffage pendant la saison froide. On en déduit la dépense annuelle de combustible d'après la puissance calorifique de ce dernier et le rendement de l'appareil de chauffage.

Il convient de remarquer que la valeur à prendre pour Q n'est pas tout à fait la même dans les deux cas particuliers. En prenant les coefficients que nous avons donnés (**88**) on trouve pour Q un nombre un peu plus fort dans les grands froids que dans les temps moyens.

C représente la quantité de chaleur qui doit arriver utilement dans l'enceinte à chauffer ; celle qu'il faut en réalité développer dans les foyers doit être en général beaucoup plus grande à cause des pertes de toute nature.

Désignons, comme précédemment, par ps le poids de combustible brûlé sur la grille, par N la puissance calorifique et par ρ le rendement de l'appareil, la quantité de chaleur effectivement dégagée est ρpsN.

Si l'appareil est placé en dehors de l'enceinte à chauffer, il y

a, de l'appareil à l'enceinte. une certaine quantité βpsN de chaleur perdue dans le transport, de sorte qu'on doit avoir

$$\rho psN = C + \beta psN$$

et, par suite,

$$C = (\rho - \beta) psN \quad \text{et} \quad ps = \frac{1}{\rho - \beta} \times \frac{C}{N}.$$

En prenant $C = C_1$ valeur maxima, on a le poids de combustible qui sert de base au calcul des dimensions de l'appareil.

En prenant $C = C_2$ valeur moyenne, on a le poids de combustible qui sert de base au calcul de la consommation totale pendant l'hiver.

1220. Application des formules. — Faisons l'application de ces formules au chauffage d'un bâtiment comprenant 3 étages, de 20 mètres de longueur, 10 mètres de largeur et 12 mètres de hauteur totale.

A chaque étage, il est percé de 16 fenêtres, soit en tout 48 fenêtres, ayant chacune 4 mètres carrés de surface, ce qui donne une surface totale vitrée de 192 mètres carrés.

Le bâtiment est habité par 60 personnes adultes, 20 à chaque étage; il est éclairé par 12 becs de gaz qui sont allumés 4 heures par jour. Chacun d'eux brûle 100 litres de gaz à l'heure.

Supposons que l'on soit sous le climat de Paris et que la température doive être maintenue à l'intérieur à 16°.

Il s'agit de déterminer :

1° La quantité maxima de chaleur que doivent pouvoir fournir, les appareils de chauffage;

2° La quantité moyenne par heure pour en déduire la consommation totale de combustible pour toute la durée de l'hiver.

Cherchons d'abord la quantité de chaleur P qui passe à travers les parois de l'enceinte chauffée. Ces parois se composent

des murs dont la surface est S_1,
des vitres — — S_2,
du plafond — — S_3,
du sol — — S_4.

Il n'y a pas lieu de tenir compte des planchers intermédiaires

entre les étages, la température étant la même des deux côtés. La formule à appliquer est, dans le cas le plus général :

$$P = \Sigma sq(t-\theta) = S_1 q_1(t-\theta_1) + S_2 q_2(t-\theta_2) + S_3 q_3(t-\theta_3) + S_4 q_4(t-\theta_4).$$

Murs. — La surface S_1 des murs est la différence entre la surface totale des parois verticales et celle des fenêtres.

La surface des vitres est

$$S_2 = 3 \times 16 \times 4 = 192$$

et, par suite,

$$S_1 = 20 \times 2 \times 12 + 10 \times 2 \times 12 - 192 = 528^{mq}.$$

La surface verticale totale est $S_1 + S_2 = 720$ mètres carrés dont environ 1/4 pour les vitres.

La surface du plafond S_3 est

$$S_3 = 20 \times 10 = 200^{mq}.$$

La surface du sol S_4 est la même

$$S_4 = 20 \times 10 = 200^{mq}.$$

La surface totale S est, en conséquence

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 1120^{mq}.$$

Le coefficient q_1 de transmission à travers un mur en pierre calcaire de 0,50 d'épaisseur (**115**) varie suivant le degré d'agitation de l'air entre 1,50 et 2,14.

Le chiffre maximum correspond à des vents violents qui ne durent que peu de temps et la chaleur accumulée dans les murs suffit pour rendre insensible à l'intérieur le refroidissement de peu de durée de la face extérieure qui se produit dans ce cas. En prenant comme coefficient maximum de transmission $q_1 = 1,80$, on se trouvera dans des conditions de sécurité très suffisantes pour le calcul des appareils de chauffage dans nos climats.

Pour les conditions moyennes de tout un hiver à Paris, il suffira de prendre $q'_1 = 1,50$.

De même, bien que la température extérieure se soit abaissée

à Paris exceptionnellement à $-25°$ au-dessous de $0°$, la durée de ce froid si rigoureux a été trop courte pour qu'elle ait pu produire à travers les murs un effet très sensible.

Les températures extérieures inférieures à $-8°$ ne se maintiennent ordinairement que peu de temps et, lorsqu'elles persistent accidentellement pendant plusieurs jours consécutifs, il suffit, pour en conjurer les effets, d'augmenter la durée du fonctionnement des appareils de chauffage. Pour le calcul des appareils de chauffage, il suffit, en général, de prendre un minimum de $-8°$ à $-10°$ à l'extérieur, de sorte que pour une température intérieure maintenue à $16°$, la différence maximum est de $16° - (-9°) = 25°$.

Nous supposons que la température extérieure moyenne de l'hiver, à Paris, est de $+6°$ et nous adoptons ce nombre pour les calculs. Dans cette hypothèse, pour une température intérieure de $16°$ l'écart moyen pour tout l'hiver sera de $10°$.

En somme, il y a lieu de prendre pour le terme $q_1(t-\theta)$ deux valeurs :

l'une $q_1(t-\theta) = 1,80 \times 25 = 45$ applicable au calcul des appareils de chauffage,

l'autre $q'_1(t-\theta) = 1,50 \times 10 = 15$ applicable au calcul de la consommation moyenne de combustible.

Nous trouvons ainsi dans le cas particulier, pour $S_1 q_1(t-\theta)$ deux valeurs : l'une maxima $528 \times 45 = 23760$

l'autre moyenne $528 \times 15 = 7920$.

La transmission moyenne est dans ce cas le tiers de la transmission maxima.

Vitres. — La chaleur qui passe à travers les vitres est donnée par la formule $S_2 q_2 \times (t - \theta_2)$.

La valeur du coefficient q_2 dépend, comme celle de q_1, du degré d'agitation de l'air. Par des raisons analogues à celles développées ci-dessus, et en s'appuyant sur les nombres indiqués au n° **116**, nous prendrons pour maximum $q_2 = 4,5$ et pour moyenne $q'_2 = 3,5$, ce qui donne pour $q_2(t-\theta_2)$ les nombres suivants :

Valeur maxima $4,5 \times 25 = 112,5$

Valeur moyenne $3,5 \times 10 = 35$
et pour $S_2 q_2 (t - \theta_2)$
Valeur maxima $192 \times 112,5 = 21,600$
Valeur moyenne $192 \times 35 = 5,720$.

La transmission totale par les vitres est à peu près égale à celle qui s'effectue à travers les murs, bien que la surface vitrée soit environ trois fois moindre que la surface murale.

Plafond. — La chaleur qui passe à travers le plafond supérieur est $S_3 q_3 (t - \theta_3)$.

Le coefficient q_3 se calcule toujours par la formule du numéro **80**. Pour un hourdis en plâtras et plâtre de 0,30 d'épaisseur, on trouve $q_3 = 1,80$. Ce nombre est appliquable dans toutes les conditions atmosphériques, la face supérieure se trouvant dans un comble, n'est pas exposée aux agitations de l'air extérieur.

La température θ_3 est celle du comble, et si celui-ci est convenablement clos, sa température doit être une moyenne entre les températures intérieure t et extérieure θ

$$t - \theta_3 = t - \frac{t + \theta}{2} = \frac{t - \theta}{2}.$$

La différence de température est moitié de celle qui existe pour les murs et les vitres.

On trouve alors pour $S_3 q_3 (t - \theta_3)$

Valeur maxima $200^{mq} \times 1,80 \times \frac{25}{2} = 4\,500$

Valeur moyenne $200^{mq} \times 1,80 \times \frac{10}{2} = 1\,800$

A la rigueur l'agitation de l'air extérieur a bien une influence sur la température dans le comble, mais elle est peu sensible et il n'y a pas lieu d'en tenir compe.

Si le comble était plus ou moins encombré par des charpentes ou d'autres objets mauvais conducteurs, comme cela arrive souvent, la transmission pourrait être réduite dans de notables proportions.

Sol. — La quantité de chaleur $S_4 q_4 (t - \theta_4)$ qui passe à travers le sol du rez-de-chaussée dépend de la destination du sous-sol ainsi

que de la nature et de l'épaisseur du plafond de celui-ci. En supposant les caves voûtées en maçonnerie et le sol du rez-de-chaussée recouvert d'un plancher en bois, le coefficient de transmission est faible et n'atteint pas $q_4 = 1$.

Lorsque les soupiraux des caves sont bien fermés, la température y varie peu pendant l'hiver et on peut prendre environ $\theta_4 = 10$ comme une constante. On a ainsi $q_4(t - \theta_4) = 6$ et par suite dans le cas du bâtiment considéré

$$S_4 q_4 (t - \theta_4) = 200 \times 6 = 1200.$$

Si les soupiraux restaient ouverts, la transmission pourrait être doublée.

En réunissant les divers nombres précédents, on trouve pour les pertes de chaleur les résultats suivants.

Pertes de chaleur.

	Maximum.	Moyenne.
Murs	23760	7920
Vitres	21600	5720
Plafond	4500	1800
Sol	1200	1200
Perte totale	51060	16640

Ainsi, la perte maxima par les parois, celle qu'il faut prendre pour base dans le calcul des appareils de chauffage qui doivent suffire dans les cas les plus défavorables, est

$$P = 51060.$$

La perte moyenne qui doit servir au calcul de la consommation de combustible pendant tout l'hiver est

$$P_1 = 16640.$$

Dans l'hypothèse admise, P_1 est à peu près le tiers de P.

On déduit de ces nombres le coefficient moyen Q de transmission, nous avons admis pour les grands froids $t - \theta = 25°$

$$Q = \frac{P}{S(t-\theta)} = \frac{51060}{1120 \times 25} = 1,82$$

et pour une température extérieure moyenne $t-\theta=10°$

$$Q=\frac{16640}{1120\times 10}=1,49.$$

Le coefficient moyen Q n'est pas le même pour les grands froids et pour la température moyenne de l'hiver. Il varie de 20 p. 100 environ.

Ce coefficient moyen Q dépend beaucoup du rapport des surfaces vitrées à la surface des murs. Si la surface des vitres est considérable, Q augmente. Dans beaucoup de constructions il est égal à 2, et pour certains bâtiments comme pour les serres d'horticulture, qui sont presque complètement vitrées, il peut s'élever jusqu'à 4. Si l'on recouvre les vitres de paillassons ou d'autres corps mauvais conducteurs, ce coefficient se trouve considérablement réduit.

Ventilation. — La chaleur emportée par l'air de ventilation est

$$U=V\delta c(t-\theta)$$

pour de l'air à 0°, $\delta=1,293$ et comme $c=0,2377$, on a $\delta c=0,307$.

Si la ventilation dans l'enceinte se fait à raison de 40 mètres cubes d'air par personne et par heure, on a

$$V=40^{mc}\times 60=2400^{mc}$$

et comme la capacité du bâtiment est de $20\times 10\times 12=2400$ mètres cubes, on voit que cela correspond à un renouvellement de l'air de une fois par heure.

Par étage, il passe 800 mètres cubes d'air et la surface du plancher étant de 200 mètres carré, la vitesse de circulation supposée uniforme dans le plan horizontal est par 1″

$$V=\frac{800}{200\times 3600}=0,0011$$

c'est-à-dire un peu plus de 1 millimètre seulement.

En prenant comme ci-dessus dans les grands froids $t-\theta=25$ et pour la moyenne de l'hiver $t-\theta=10$, on trouve pour U
Valeur maxima $U=18\,300$

Valeur moyenne U = 7 230.

Le rapport de ces deux nombres est 2,5.

La perte totale de chaleur par transmission à travers les parois et par l'air de ventilation est ainsi par heure pour le bâtiment considéré :

Pertes de chaleur.

	Maximum.	Moyenne.
Par les parois, P	51 060	16640
Par la ventilation, U	18 300	7 320
Totale (P + U).	69 360	23960

Dans les conditions où nous sommes placés, la chaleur absorbée par la ventilation est un peu plus du tiers de celle perdue par les parois. Pour une ventilation plus abondante, elle pourrait lui devenir égale et même supérieure.

Calculons maintenant la chaleur dégagée par la respiration des occupants et les appareils d'éclairage.

Chaque personne adulte qui se trouve dans l'enceinte dégageant 70 calories par heure, on a

$$R = 60 \times 70^{c} = 4200$$

Chaque bec de gaz brûlant 100 litres à l'heure dégage pendant la combustion 600 calories, soit pour les 12 becs, 7 200 calories, mais ces becs ne sont allumés que 4 heures sur 24, la moyenne horaire est donc seulement

$$E = \frac{4}{24} \times 12 \times 600 = 1200^{cal}.$$

Ce calcul de moyenne suppose que l'excès de chaleur dégagée pendant l'éclairage est absorbé par les murs et les meubles et est ensuite restitué peu à peu pendant que les becs ne brûlent pas.

La chaleur totale moyenne fournie par la respiration et les appareils d'éclairage est ainsi par heure

$$R + E = 4200 + 1200 = 5400.$$

c'est un nombre de calories assez faible par rapport à la déperdition à travers les parois ou à la quantité de chaleur absorbée par la ventilation; dans la plupart des cas on pourra ne pas en tenir compte.

Cela conduira à donner aux appareils de chauffage un peu plus de puissance qu'il ne serait nécessaire d'après le calcul, on sera ainsi plus sûr d'obtenir les résultats recherchés.

De l'ensemble des nombres précédents, on déduit la quantité de chaleur G que doivent fournir les appareils de chauffage.

	Maxima	*Moyenne*
Chaleur perdue par les parois et la ventilation.....	69360^{cal}	23969^{cal}
— fournie par la respiration et les appareils d'éclairage.....	5400	5400
— à fournir par les appareils de chauffage.....	63960^{cal}	18560^{cal}

La quantité de chaleur maxima à fournir par heure est 63960 calories; c'est le nombre qui doit servir de base au calcul des dimensions des appareils de chauffage et de la consommation maxima de combustible dans le temps le plus froid.

La quantité de chaleur à fournir en moyenne par heure est de 18560 calories. On aura la consommation de combustible pour tout l'hiver en multipliant la dépense horaire moyenne par le nombre total d'heures de chauffage.

Si l'appareil de chauffage utilise 3500 calories par kilogramme de houille brûlé, la consommation horaire maxima sera

$$\frac{63960}{3500} = 18^{k},10$$

et la consommation horaire moyenne sera

$$\frac{18560}{3500} = 5^{k},30$$

Pour 200 jours continus de chauffage, la dépense totale de houille sera

$$5^{k},30 \times 24 \times 200 = 127^{k},20 \times 200 = 25440^{k}.$$

La consommation totale de houille pour l'hiver serait de 25 440 kilogrammes.

Afin de mettre de l'ordre dans les calculs et de pouvoir reconnaître rapidement comment doit être répartie la chaleur dans les différentes pièces du bâtiment, il est utile de dresser un tableau, sur lequel on inscrit, dans des colonnes séparées, les différents éléments qui servent au calcul et les résultats obtenus. Nous donnons (page 739) un modèle de tableau qu'on peut adopter dans la plupart des cas.

1221. Influence de la position relative d'une pièce chauffée dans un bâtiment. — Le calcul des appareils de chauffage se fait en prenant pour base le nombre de calories maximum ($C = 63\,960$) que nous venons de déterminer. C'est celui qu'il faut fournir dans les grands froids pour le chauffage de tout le bâtiment et d'où on déduit, comme nous le verrons plus loin, les dimensions de la grille du foyer, des surfaces de chauffe, de la cheminée, etc. ; nous entrerons dans de nombreux détails à ce sujet.

La chaleur fournie par l'appareil de chauffage doit se distribuer dans les diverses parties du bâtiment, de manière à donner partout la température qui convient.

En raison de leur position relative dans le bâtiment, certaines parties sont plus exposées que d'autres au refroidissement et doivent recevoir proportionnellement plus de calories. C'est ainsi qu'un étage intermédiaire situé entre deux étages chauffés est moins refroidi que l'étage supérieur, qui perd de la chaleur par le plafond, et que le rez-de-chaussée qui en perd par le sol. A chaque étage, le maximum de déperditions correspond aux extrémités du bâtiment dont la surface des parois exposées au refroidissement est relativement considérable

Si on divise le bâtiment décrit ci-dessus et pour lequel nous avons calculé le chauffage par tranches verticales de même largeur, et si on calcule la quantité de chaleur à fournir à chacune d'elles, d'après l'étendue et la nature des surfaces refroidissantes afférentes, on trouve des résultats très différents.

Pertes de chaleur par les surfaces de refroidissement et par la ventilation.

NUMÉROS D'ORDRE.	LOCAUX.			TEMPÉRATURE EXIGÉE t	EXCÈS DE TEMPÉRATURE $t - \theta$	PAROIS REFROIDISSANTES.			COEFFICIENTS de DÉPERDITION.	PRODUITS PARTIELS.	PERTES par REFROIDISSEMENT. A
	DÉSIGNATION.	DIMENSIONS. m. l.	VOLUMES. m. c.			NATURE.	DIMENSIONS. m. l.	SURFACES. m².			

CHAUFFAGE DIRECT.						CHAUFFAGE PAR AFFLUX D'AIR CHAUD.					OBSERVATIONS.
VENTILATION.					PERTES totales. A + B	TEMPÉRATURE de l'air affluent. T	EXCÈS de température. $T - t$	CALORIES fournies par m³. u	VOLUME D'AIR à introduire. $\frac{A}{u}$	CHALEUR totale à fournir. C	
Par personne. m. c.	Nombre de personnes.	Volume d'air. m. c.	Coefficient.	Perte par salle. B							

Ainsi, en prenant une tranche de 4 mètres de large comprenant une pièce située au deuxième étage, à une extrémité du bâtiment, on trouve comme surfaces refroidissantes trois faces verticales de 18 mètres de développement et de 4 mètres de hauteur, sur lesquelles sont percées trois fenêtres de 4 mètres carrés de surface chacune (la quatrième face verticale séparant la tranche considérée du reste du bâtiment qui est chauffé ne doit pas être comptée). Le plafond présente une superficie de 4 mètres sur 10.

En prenant les mêmes coefficients de transmission qu'au numéro **1220**, on trouve, par degré de différence de température :

Perte par les murs.....	$60 \times 1,80 = 108$	calories.
— les vitres.....	$12 \times 4,5 = 54$	—
— le plafond.....	$40 \times 0,90 = 36$	—
Perte totale par les parois.	198	calories.

Le volume de l'enceinte chauffée est de 160 mètres cubes, la ventilation étant uniformément répartie à raison d'un renouvellement d'air de une fois par heure, la chaleur à dépenser pour le chauffage de cet air est par degré

$$0,307 \times 160 = 49$$

ce qui donne 247 calories comme quantité de chaleur à fournir par degré d'écart pour la pièce considérée.

Pour une salle de même largeur (4 mètres), de même hauteur (4 mètres), et de même capacité, placée au premier étage et au milieu du bâtiment, les parois refroidissantes sont seulement deux murs de 4 mètres sur 4 mètres dans lesquels sont percées deux fenêtres de 4 mètres carrés chacune.

On trouve alors pour les pertes de chaleur par degré de différence :

Perte par les murs.....	$24^{m.q.} \times 1,80 = 43,20$
— vitres.....	$8 \times 4,5 = 36$
Perte totale par les parois.....	79,20

En ajoutant la perte par la ventilation, qui est la même que pour la pièce du deuxième étage (49 calories), on a pour perte totale 128 calories au lieu de 247.

Ainsi, la déperdition totale n'est plus ici que la moitié environ de celle que nous avons trouvée pour une pièce du deuxième étage de même capacité. Dans le premier cas, il faut fournir $1^{cal},55$ par mètre cube et, dans le second, $0^{cal},8$.

On voit que, suivant la position dans le bâtiment des pièces à chauffer, les quantités de chaleur à fournir peuvent être très différentes pour un même cube.

1222. Quantité de chaleur par mètre cube de capacité. — On rapporte assez souvent la quantité de chaleur à fournir au cube du bâtiment à chauffer. C'est une base bien incertaine et bien variable, puisque la quantité de chaleur perdue n'est liée que d'une manière très indirecte à la capacité du bâtiment, et que l'étendue et la nature des surfaces refroidissantes ainsi que l'abondance de la ventilation peuvent être fort différentes pour le même cube. Nous venons d'en voir un exemple.

On ne saurait donc avoir, pour toutes les enceintes, le même rapport entre la chaleur à fournir et la capacité.

Toutefois, comme, dans nos constructions destinées à l'habitation, la nature des matériaux, l'épaisseur des murs, l'importance relative des surfaces vitrées, etc., diffèrent en général assez peu, ce rapport reste compris dans certaines limites. On conçoit donc qu'on puisse faire rapidement une évaluation approximative de la puissance des appareils et de la dépense du chauffage sans être obligé de recourir à des calculs complets. S'il s'agissait d'une construction spéciale, en dehors des conditions ordinaires, cette moyenne n'aurait plus aucune valeur.

Nous avons vu (**1219**) que la quantité de chaleur à fournir pour chauffer une enceinte, quand on ne tient pas compte de la chaleur dégagée par la respiration et les appareils d'éclairage, est donnée par la formule (**8**)

$$C = (SQ + V\delta c)(t - \theta).$$

Exprimons cette quantité en fonction de la capacité du bâtiment.

Soient : B cette capacité en mètres cubes, ω la section horizontale, χ le périmètre, h la hauteur et S la surface totale exposée au refroidissement.

On a

$$B = \omega h \quad \text{et} \quad S = \chi h + 2\omega.$$

Soient : S_1 la surface des murs, S_2 celle des vitres, q_1 et q_2 les coefficients de transmission respectivement correspondants. q_3 le coefficient moyen pour le plafond et le sol ; on a

$$SQ = S_1 q_1 + S_2 q_2 + 2\omega q_3.$$

Si on prend, en moyenne

$$S_2 = \frac{1}{3} S_1 \qquad q_1 = 1{,}80 \qquad q_2 = 4{,}50 = 2{,}50 \times q_1$$

et q_3 rapporté à un écart de 25°, égal à 0,45 ou $0{,}25 \times q_1$, on a en remarquant que $S_1 + S_2 = \chi h$

$$SQ = \frac{3}{4}\chi h q_1 + \frac{1}{4}\chi h \times 2{,}5 q_1 + 2\omega \times 0{,}25 q_1 = 1{,}375 \chi h q_1 + 0{,}5 \omega q_1.$$

ou

$$SQ = \left(1{,}375 \frac{\chi}{\omega} + \frac{0{,}5}{h}\right) B q_1.$$

Si le renouvellement de l'air dans l'enceinte se fait à raison de n fois par heure, on a $V = nB$ et, en remplaçant SQ et V par ces valeurs, on trouve :

$$C = \left[\left(1{,}375 \frac{\chi}{\omega} + \frac{0{,}5}{h}\right) q_1 + n\delta c\right] B(t - \theta).$$

On peut exprimer l'énergie de la ventilation par la vitesse v de l'air traversant l'enceinte uniformément dans toute la section ω, on a alors $V = 3600\,\omega v = n\omega h$, d'où $n = \frac{3600 v}{h}$ et on peut remplacer n par cette valeur dans l'équation ci-dessus.

Si on fait $\frac{\chi}{\omega} = 0{,}30$, $q_1 = 1{,}80$, $\delta = 1{,}293$, $c = 0{,}2377$, la valeur de C devient :

$$C = \left[\left(0{,}41 + \frac{0{,}5}{h}\right) 1{,}80 + \frac{1100v}{h}\right] B(t-\theta) =$$
$$\left(0{,}74 + \frac{0{,}90 + 1100v}{h}\right) B(t-\theta).$$

En donnant à v et à h une série de valeurs, on trouve pour le rapport $\frac{C}{B(t-\theta)}$, c'est-à-dire pour la chaleur à fournir par mètre cube de capacité de l'enceinte et par degré de différence de température, les nombres inscrits dans le tableau suivant.

Quantités de chaleur par mètre cube de capacité et par degré de différence de température nécessaires pour chauffer une enceinte suivant la hauteur de l'étage et la ventilation.

Application de la formule $\frac{C}{B(t-\theta)} = \left[\left(1{,}375\frac{\chi}{\omega} + \frac{0{,}5}{h}\right) q_1 + n\delta c\right]$ qui, dans le cas particulier examiné, devient : $\frac{C}{B(t-\theta)} = 0{,}74 + \frac{0{,}9 + 1100v}{h}$.

HAUTEUR de L'ENCEINTE. h en mètres.	VITESSE DE L'AIR.							
	0,0005	0,001	0,0015	0,002	0,0025	0,003	0,005	0,010
	QUANTITÉS DE CHALEUR EN CALORIES.							
2	1,46	1,74	2,01	2,29	2,56	2,84	3,94	6,69
3	1,22	1,41	1,62	1,77	1,96	2,14	2,87	4,41
4	1,10	1,24	1,38	1,51	1,65	1,79	2,34	3,49
5	1,03	1,14	1,25	1,36	1,47	1,58	2,02	2,94
6	0,98	1,07	1,16	1,26	1,35	1,44	1,81	2,57
7	0,95	1,03	1,10	1,18	1,26	1,34	1,65	2,31
8	0,92	0,99	1,06	1,13	1,20	1,26	1,54	2,11
9	0,90	0,96	1,02	1,08	1,15	1,21	1,45	1,96
10	0,88	0,94	0,99	1,05	1,10	1,16	1,38	1,84
20	0,81	0,84	0,87	0,89	0,92	0,95	1,06	1,29

Ce tableau fait voir que la quantité de chaleur à fournir par mètre cube de capacité et par degré est loin d'être constante, même pour des conditions identiques de construction et qu'elle varie, dans les limites que nous avons prises, de $0^{cal},88$ pour 10 mètres de hauteur et une vitesse de 0,0005 à $6^{cal},69$ pour une hauteur de 2^{m} et une vitesse de 0,010.

Pour une hauteur moyenne de 4 mètres et une vitesse de descente de l'air de ventilation comprise entre 0,0005 et 0,002 elle varie de $1^{cal},10$ à $1^{cal},51$. En nombre rond c'est une moyenne de $1^{cal},30$ environ qu'on peut prendre pour un calcul rapide et approximatif dans l'étude d'un chauffage. Mais ce nombre ne saurait être considéré que comme une indication s'appliquant à l'ensemble d'un bâtiment, dans des conditions moyennes de ventilation; il conduirait à des résultats tout à fait erronés si on voulait l'appliquer dans tous les cas.

La position de la pièce chauffée dans le bâtiment a aussi une grande influence. Si nous nous reportons par exemple aux deux pièces que nous avons comparées plus haut, nous trouverons que pour celle du second étage, à l'extrémité du bâtiment, la perte par mètre cube est $\frac{247}{160} = 1,55$, tandis que pour celle du premier étage, au milieu du bâtiment, elle est seulement de $\frac{132}{160} = 0,825$.

Pour des enceintes présentant de grandes surfaces vitrées, comme les serres, on trouverait des différences encore plus considérables.

1223. Variation de température du plafond au sol sur la hauteur d'une enceinte habitée. — Nous avons supposé dans les calculs qui précèdent que la température était uniforme dans l'enceinte sur toute la hauteur. Cette hypothèse ne s'éloigne pas trop de la vérité, lorsque les hauteurs d'étage sont faibles, ou lorsque la plus grande partie de la chaleur est fournie par le rayonnement direct de surfaces chaudes, ou bien encore lorsque la ventilation est très abondante; mais, dans beaucoup de cas, il y a décroissance sensible de température du plafond au plancher.

Lorsque le chauffage s'effectue au moyen d'un courant d'air chaud arrivant près du plafond d'une manière continue, l'air affluent refoule au-dessous de lui l'air de l'enceinte et le fait descendre par couches successives dont la température décroît constamment par suite du refroidissement contre les parois.

On conçoit que, pour avoir, à $1^m,50$ au-dessus du plancher une température déterminée, il faut que celle de l'air affluent soit d'autant plus élevée que l'étage a plus de hauteur et que la vitesse de descente est plus faible.

Voyons à déterminer quelle doit être, dans des circonstances données, la température de l'air affluent et la quantité de chaleur à fournir pour chauffer l'enceinte.

Soient :

V le volume d'air chaud affluent par heure ;

c sa chaleur spécifique ;

y la température d'une couche d'air située à une hauteur quelconque x au-dessus du sol ;

dy l'abaissement de température pour le chemin dx parcouru par la couche descendante ;

Q le coefficient moyen de transmission par les parois verticales ;

χ le périmètre de l'enceinte (de sorte que χdx représente la surface de refroidissement) ;

θ la température extérieure.

La chaleur abandonnée par l'air étant perdue à travers la paroi, on a, si on admet un refroidissement régulier et uniforme dans chaque couche

$$V\delta c dy = Q(y-\theta)\chi dx.$$

On tire de là

$$\frac{V\delta c dy}{y-\theta} = Q\chi dx$$

et en intégrant depuis $y=t$ et $x=a$; a étant la hauteur au-dessus du sol où on veut maintenir la température t, on trouve

$$V\delta c \log \text{nep} \frac{y-\theta}{t-\theta} = Q\chi(x-a)$$

équation qui donne la température y à une hauteur quelconque x au-dessus du sol.

On peut la mettre sous la forme

$$y-\theta = (t-\theta)e^m$$

en posant

$$m = \frac{Q\chi(x-a)}{V\delta c}.$$

Pour avoir la température T au plafond, la hauteur de l'étage étant h, il suffit de faire $y = T$ et $x = h$. On obtient :

$$T = \theta + (t-\theta)e^m \quad \text{et} \quad m = \frac{Q\chi(h-a)}{V\delta c}.$$

On peut remplacer V par sa valeur $V = 3600\omega v$ et il vient:

$$m = \frac{Q\chi(x-a)}{3600\omega v\delta c}.$$

D'après l'expression de T et la valeur de m, on reconnaît que la température au plafond augmente, comme on pouvait le prévoir, avec la hauteur h de l'étage, et à mesure que diminue le volume d'air V de ventilation ou, ce qui revient au même, la vitesse de l'air descendant dans l'enceinte. Afin de montrer l'influence de la hauteur de l'étage et de la vitesse de ventilation, nous avons calculé le tableau de la décroissance des températures pour diverses hauteurs et vitesses dans les conditions suivantes :

Nous supposons que la température à la hauteur de 1,50 au-dessus du plancher doit être maintenue à 16°, la température extérieure θ étant 0°. Le coefficient moyen de transmission à travers les parois est $Q = 2$, enfin le rapport du périmètre de l'enceinte à sa section est $\frac{\chi}{\omega} = 0,30$. C'est le cas d'une enceinte rectangulaire de 20 mètres de long sur 10 de large.

Tableau des températures à différentes hauteurs au-dessus du sol suivant la vitesse de descente de l'air dans une enceinte.

La température à $1^m,50$ étant de 16° dans chaque cas.

Application des formules : $y = \theta + (t - \theta)e^m$ et $m = \frac{Q\gamma(x-a)}{V\delta c}$.

HAUTEUR AU-DESSUS du sol. h	VITESSE DE DESCENTE DE L'AIR.						
	0,0005	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,010
	TEMPÉRATURES.						
0	3,1	7,0	10,6	12,1	13,0	13,6	14,7
1	9,2	12,2	14.0	14,6	14,9	15,1	15,6
1,5	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
2	27,7	21,1	18,4	17,5	17,0	16,9	16,4
3	83,3	36,5	24,2	21,1	19,7	18,9	17,4
4	250,3	63,3	31,8	25,3	22,6	21,1	18,3
5	751,9	109,7	41,9	30,4	25,9	23,5	19,4
6	»	190,1	55,1	36,6	29,7	26,2	20,5
7	»	339,5	72,6	43,8	34,2	29,3	21,6
8	»	»	95,6	52,7	39,1	32,7	22,9
9	»	»	125,9	63,3	44,9	36.5	24,2
10	»	»	169,6	76,0	51,5	40,2	25,5

On voit que, pour la vitesse de 0,01 la température varie peu du plafond au plancher, et que, pour les vitesses de 0,001 et de 0,0005, il y a une différence énorme entre les températures en haut et en bas. Dans ces conditions, le chauffage des salles dont la hauteur dépasse respectivement 3 et 5 mètres est irréalisable par ce procédé.

Remarque. — On a pris, pour dresser ces tableaux, le coefficient moyen $Q = 2$; dans bien des cas, ce coefficient serait trop faible, et on trouverait, pour les valeurs des températures de l'air aux différentes hauteurs, des nombres encore supérieurs à ceux qui sont portés aux tableaux.

1224. Quantité de chaleur à fournir pour le chauffage, en tenant compte du décroissement de température du plafond au plancher. — La quantité de chaleur né-

cessaire pour chauffer une enceinte, au moyen d'un courant d'air chaud affluant continuellement au plafond et descendant régulièrement à travers l'enceinte, se compose d'abord de la chaleur nécessaire à l'élévation de température de l'air au degré que nous venons de déterminer et qu'il doit avoir au plafond au moment où il commence à redescendre, et en plus de la chaleur perdue par transmission à travers la paroi du plafond.

Pour chauffer l'air près du plafond à une température T suffisante pour qu'il conserve une température t à une hauteur a au-dessus du sol, il faut lui fournir une quantité de chaleur

$$V\delta c(T-\theta)$$

θ étant la température de l'air extérieur.

Afin de compenser les pertes à travers le plafond, il faut fournir à l'air chauffé une nouvelle quantité de chaleur représentée par

$$\omega q(T-\theta)$$

ω étant la surface du plafond et q le coefficient de transmission correspondant.

La quantité totale de chaleur à fournir à l'air est en conséquence

$$C=(V\delta c+\omega q)(T-\theta)=(V\delta c+\omega q)(t-\theta)e^{m}.$$

Dans cette relation

$$m\ \frac{Q\chi(h-a)}{V\delta c}=\frac{Q\chi}{\omega}\ \frac{h-a}{3600v\delta c}$$

Comme précédemment, Q est le coefficient de transmission moyen par les parois de l'enceinte ; T est la température de l'air au plafond, situé à une hauteur h au-dessus du plancher.

On peut exprimer la quantité de chaleur C en fonction de la capacité B de l'enceinte

$$B=\omega h.$$

Il suffit de remplacer le volume V par sa valeur

$$V = 3600\omega v$$

et il vient :

$$C = \frac{B}{h}(3600v\delta c + q)(t-\theta)e^{m}.$$

Pour une même capacité B, cette quantité de chaleur dépend de la hauteur h de l'étage et de la vitesse de descente de l'air chauffé.

Elle a un minimum qui est différent suivant qu'on considère h ou v comme constant.

En faisant les calculs, on trouve que :

1° Dans le cas où v est *constant* et h *variable* le minimum de calories à fournir par mètre cube d'air émis et par degré de différence de température est donné par la relation

$$\frac{C}{B(t-\theta)} = Q\frac{\chi}{\omega}\left(1 + \frac{q}{1100v}\right)e^{m}.$$

2° Si h est *constant* et v *variable*, le minimum de dépense de calories correspond à :

$$\frac{C}{B(t-\theta)} = \left[\frac{Q\chi(h-a)}{2\omega}\left(1 + \sqrt{\frac{1+4\omega q}{(h-Q\chi a)}}\right) + q\right]e^{m}.$$

Nous donnons dans le tableau suivant l'application de ces diverses formules.

Quantité de chaleur, par mètre cube de capacité et par degré de différence de température, nécessaire pour chauffer une enceinte suivant sa hauteur et la vitesse de descente de l'air.

Application des formules $\frac{C}{B(t-\theta)} = \frac{1}{h}(1100v + q)e^m$ et $m = \frac{Q\chi(h-a)}{1100 \times \omega v}$.

HAUTEUR de L'ENCEINTE. h en mètres.	VITESSE DE L'AIR.						MINIMUM.	
	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,010	Vitesse v	$\frac{C}{B(t-\theta)}$
	QUANTITÉ DE CHALEUR EN CALORIES.							
2	1,38	1,82	2,36	2,89	3,43	6,16	0,0007	1,30
3	1,60	1,65	1,89	2,21	2,55	4,34	0,0014	1,52
4	2,08	1,58	1,70	1,95	2,14	3,44	0,0020	1,58
5	2,88	1,68	1,63	1,75	1,91	2,91	0,0026	1,61
6	4,16	1,84	1,64	1,67	1,78	2,56	0,0032	1,62
7	6,17	2,07	1,68	1,65	1,70	2,32	0,0037	1,63
8	9,35	2,39	1,77	1,65	1,66	2,14	0,0043	1,633
9	14,42	2,80	1,89	1,68	1,65	2,02	0,0048	1,636
10	22,52	3,31	2,04	1,74	1,66	1,91	0,0054	1,639
Minimum h	$1^m,83$	$3^m,67$	$5^m,50$	$7^m,33$	$9^m,17$	$18^m,33$		
$\frac{C}{B(t-\theta)}$	1 ,24	1 ,57	1 ,62	1 ,63	1 ,636	1 ,639		

Ce tableau fait ressortir quelques faits importants au point de vue pratique.

En le considérant par colonnes verticales, on reconnaît que, lorsque la vitesse de descente de l'air de ventilation est de 0,001, la quantité de chaleur à fournir va toujours en augmentant avec la hauteur d'étage: de 2 mètres à 10 mètres, elle passe de $1^{cal},38$ à $22^{cal},52$ par mètre cube de capacité et par degré d'écart de température.

Pour une forte ventilation, correspondant à une vitesse de l'air de 0,01, c'est le contraire qui a lieu; la chaleur à fournir par mètre cube de capacité diminue avec la hauteur de $6^{cal},16$ à $1^{cal},91$.

Pour les vitesses intermédiaires, il y a un minimum qui, pour

chacune, varie avec la hauteur d'étage. C'est ainsi que, pour la vitesse de 0,003, le minimum est de $1^{cal},62$ et correspond à une hauteur de $5^{m},50$.

En considérant le tableau par lignes horizontales, on reconnaît également qu'il y a pour chaque hauteur d'étage une vitesse qui donne le mininum de calories à fournir.

Pour les hauteurs d'étage de 4 mètres et 5 mètres, le minimum correspond respectivement aux vitesses de 0,002 et 0,003, etc.

La vitesse donnant le minimum est d'autant plus grande que la hauteur de l'enceinte est plus élevée.

Ainsi, contrairement à ce qu'on pourrait déduire à première vue de la formule (8, n° **1216**) qui suppose la température uniforme sur toute la hauteur, le minimum de chaleur à fournir ne correspond pas au mininum de ventilation pour une capacité donnée. Pour chaque hauteur d'étage, il y a une ventilation qui correspond au minimum de dépense de chaleur et cette ventilation est elle-même d'autant plus importante que la hauteur d'étage est plus grande.

Ce fait est conforme à la pratique. En effet, pour des salles élevées de plafond, chauffées par des calorifères à air chaud, il a été constaté que, dans une certaine limite on réduisait la consommation de combustible lorsqu'on augmentait la ventilation.

Ces résultats font voir que, pour chauffer une enceinte uniquement par de l'air chaud émis près du plafond, il faut que la température de cet air soit très élevée et d'autant plus que la hauteur de l'étage est plus grande et la ventilation moins abondante. Pour des hauteurs de 5 à 6 mètres, si la vitesse de descente est inférieure à $0^{m},002$ (**1223**) le chauffage devient impossible.

Cependant, on peut remarquer que le plafond étant fortement chauffé rayonne dans l'enceinte et que cette radiation tend à élever la température des objets situés près du sol au-dessus de celle de l'air ambiant.

Il faut ajouter encore que le refroidissement de l'air descendant se produit beaucoup plus contre les parois extérieures que dans le milieu de l'enceinte. Pour ces deux motifs, il n'est

pas nécessaire de porter la température de l'air affluent à un degré tout à fait aussi élevé que l'indique la formule que nous avons établie dans l'hypothèse de la descente par couches isothermes sans tenir compte de la transmission par le plafond: mais les conclusions générales restent les mêmes.

En résumé on voit que le calcul de la quantité de chaleur à fournir à une enceinte tel que nous l'avons donné au n° **1220**. en supposant la température uniforme sur toute la hauteur, ne peut être regardé que comme un calcul approximatif. En comparant les nombres des tableaux (**1222** et **1224**) on reconnaît qu'il est suffisamment exact en pratique pour des hauteurs d'étage de 3 mètres à 4 mètres, qui sont les hauteurs les plus ordinaires; mais il conduirait à des résultats tout à fait erronés pour de grandes hauteurs.

Remarque. — L'examen des tableaux qui précèdent montre que, lorsqu'on chauffe une enceinte par émission d'air chaud, la température dans les zones supérieures est presque toujours fort élevée. Il en résulte que les pertes à travers les parois et, par suite, la dépense de chaleur nécessaire pour les compenser acquièrent une importance exagérée. On conçoit donc qu'il soit plus économique de recourir au système rationnel dont nous indiquerons plus loin les avantages (**1231**) et qui consiste, d'une part, à introduire l'air de ventilation à une température peu différente de celle à maintenir dans l'enceinte et, d'autre part, à compenser directement, au moyen de surfaces rayonnantes, les déperditions par les parois.

1225. Établissement d'un régime de température. — Nous avons considéré jusqu'à présent, dans l'étude du chauffage d'une enceinte, le cas où le régime est établi, où la chaleur fournie étant égale à la chaleur perdue, les températures se maintiennent constantes en tous points.

Lorsqu'on commence à chauffer, la chaleur dégagée pendant la période d'établissement du régime est employée non-seulement à compenser les pertes par les parois et par la ventilation, mais encore à élever la température de ces parois et des divers objets qui se trouvent dans l'enceinte.

Reprenons l'étude du chauffage d'une enceinte en tenant compte de ces nouvelles conditions.

Soit à un instant quelconque x la température de l'enceinte et θ la température extérieure. La chaleur fournie peut se diviser en trois parties : la première passe à travers les parois, la seconde est emportée par l'air de ventilation et la troisième est employée à élever la température des parois de l'enceinte et des objets qu'elle renferme.

Pour la première partie, on admet que la quantité de chaleur qui traverse les parois est proportionnelle à la différence de température des milieux qu'elles séparent; cette hypothèse se rapprochera d'autant plus de l'exactitude que les parois seront moins épaisses. Si on désigne comme ci-dessus par S la surface des parois et par Q le coefficient moyen de transmission, on aura pour la chaleur transmise pendant un temps très court dz:

$$SQ(x-\theta)dz.$$

La chaleur emportée par l'air de ventilation dans le temps dz est, en désignant comme toujours par V le volume d'air qui passe par heure dans l'enceinte, par δ le poids du mètre cube et par c la chaleur spécifique :

$$V\delta c(x-\theta)dz.$$

Enfin, en désignant par G la chaleur spécifique moyenne des parois de l'enceinte et des divers objets qu'elle renferme, la quantité de chaleur absorbée pour produire l'accroissement dx dans le temps dz est

$$Gdx.$$

La chaleur totale à fournir est la somme de ces trois quantités.

$$dM=(SQ+V\delta c)\times(x-\theta)dz+Gdx. \qquad [12]$$

L'équation (8 n° **1216**) que nous avons trouvée pour le cas où le régime est établi n'est qu'un cas particulier de cette dernière. En effet, lorsque la température x est constante à l'intérieur, dx est nul et en intégrant la relation précédente on retombe sur l'équation (8).

1226. — La relation (12) s'applique également au cas où l'enceinte se refroidit sans qu'on lui fournisse aucune quantité de chaleur. Dans ce cas, il suffit de faire $dM=0$. L'équation se réduit alors à

$$(SQ+V\delta c)(x-\theta)dz+Gdx=0$$

d'où

$$-\frac{Gdx}{(SQ+V\delta c)(x-\theta)}=dz$$

et en intégrant depuis t_0, température initiale de l'enceinte chaude jusqu'à t_1 température après le temps z de refroidissement

$$\frac{G}{SQ+V\delta c}\log\text{nep}\frac{t_0-\theta}{t_1-\theta}=Z. \qquad [13]$$

La durée du refroidissement Z est proportionnelle au rapport $\frac{G}{SQ+V\delta c}$ lequel dépend de la masse et de la nature des objets qui se trouvent dans l'enceinte, de la surface et de la nature des parois et, enfin, du volume d'air de ventilation.

Ce rapport est une quantité propre à chaque enceinte dans des conditions définies et qui exprime ce qu'on pourrait appeler son *inertie calorifique*. Nous désignerons cette inertie par I

$$I=\frac{G}{SQ+V\delta c} \qquad [14]$$

et l'équation précédente prend la forme

$$I\log\text{nep}\frac{t_0-\theta}{t_1-\theta}=Z \qquad [15]$$

qu'on peut écrire

$$t_1-\theta=(t_0-\theta)e^{-\frac{z}{I}}.$$

La fonction $e^{-\frac{z}{I}}$ revient fréquemment dans les calculs de refroidissement ou d'établissement de régime, nous poserons pour simplifier

$$b=e^{-\frac{z}{I}} \qquad [16]$$

d'où

$$t_1 - \theta = b(t_0 - \theta). \qquad [17]$$

La différence finale $t_1 - \theta$ est proportionnelle à la différence initiale $t_0 - \theta$ pour le même temps, la même enceinte et les mêmes conditions de ventilation.

Pour faciliter les calculs, nous donnons dans le tableau suivant les valeurs de b pour une suite de valeurs de $\frac{Z}{I}$.

Tableau des valeurs de $b = e^{-\frac{Z}{I}}$.

VALEURS DE $\frac{Z}{I}$	$b = e^{-\frac{Z}{I}}$	VALEURS DE $\frac{Z}{I}$	$b = e^{-\frac{Z}{I}}$	VALEURS DE $\frac{Z}{I}$	$b = e^{-\frac{Z}{I}}$	VALEURS DE $\frac{Z}{I}$	$b = e^{-\frac{Z}{I}}$
0,05	0,951	0,55	0,577	1,10	0,333	2,20	0,111
0,10	0,905	0,60	0,549	1,20	0,301	2,40	0,091
0,15	0,861	0,65	0,522	1,30	0,273	2,60	0,074
0,20	0,819	0,70	0,497	1,40	0,247	2,80	0,061
0,25	0,779	0,75	0,472	1,50	0,223	3,00	0,050
0,30	0,743	0,80	0,449	1,60	0,202	3,50	0,030
0,35	0,706	0,85	0,427	1,70	0,183	4,00	0,018
0,40	0,672	0,90	0,407	1,80	0,165	4,50	0,011
0,45	0,639	0,95	0,387	1,90	0,150	5,00	0,00674
0,50	0,607	1,00	0,367	2,00	0,135	10,00	0,0000434

1227. L'inertie calorifique I ne paraît pas pouvoir être déterminée par le calcul. Si on peut évaluer la somme $SQ + V\delta c$ quand on connaît l'étendue ainsi que la nature des parois et le volume d'air de ventilation, il n'en est plus de même de G. Les objets qui se trouvent dans l'enceinte et les parois qui la séparent de l'air extérieur ne s'échauffent pas uniformément dans toute leur épaisseur ; les surfaces exposées au contact de l'air ou au rayonnement reçoivent d'abord la chaleur qui ne pénètre que peu à peu dans la masse, de sorte que la température décroît à l'intérieur en s'éloignant de la surface suivant une loi qui n'est pas connue ; mais si le calcul théorique ne peut se faire avec quelque précision, la détermination pratique est des plus faciles.

Pour obtenir par expérience l'inertie calorifique I d'une enceinte, il suffit d'observer le refroidissement pendant un certain temps Z et de noter les températures extrêmes t_0 et t_1 en même temps que la température extérieure θ. L'équation (15) donne immédiatement :

$$I = \frac{Z}{\log \text{nep} \frac{t_0 - \theta}{t_1 - \theta}}.$$

Si, par exemple, pour une température extérieure de 0°, une enceinte se refroidit en 6 heures de 16° à 10°, on trouve :

$$I = \frac{6}{2{,}30 \log \frac{16}{10}} = 12{,}8.$$

En faisant un calcul analogue pour une série d'abaissements de température de 2° à 14° en 6 heures, la température extérieure étant 0° et la température initiale 16°, on trouve pour I les valeurs suivantes :

Abaissement de température $(t_0 - t_1)$ en 6 heures :

2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°

Valeurs de I :

44,9	20,9	12,8	8,6	6,1	4,3	2,9.

Quand l'inertie calorifique d'une enceinte est connue, soit par une expérience directe, soit par analogie avec un autre local constitué d'une manière à peu près semblable, il est facile de calculer le décroissement de température dans un temps déterminé quand l'enceinte se refroidit. Il suffit d'appliquer la formule (17)

$$(t_1 - \theta) = b(t_0 - \theta).$$

Pour $I = 10$, $t_0 = 16$, on trouve pour t_1 les valeurs suivantes correspondant au temps Z suivant que $\theta = -9°$ ou $\theta = 0°$.

Température d'une enceinte suivant la durée du refroidissement.

Température initiale intérieure $t_0 = 16°$.

$I = 10$ $t_1 = \theta + b(t_0 - \theta)$

Z	$\frac{Z}{I}$	$b = e^{-\frac{Z}{I}}$	TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE. $\theta = -9$ Valeurs de t_1	$\theta = 0$ Valeurs de t_1
1h	0,1	0,905	13°62	14°48
2	0,2	0,819	11,47	13,10
3	0,3	0,743	9,57	11,89
5h	0,5	0,607	6,17	9,71
10	1,0	0,367	0,17	5,87
20	2,0	0,135	—5,63	2,16
40	4,0	0,018	—8,55	0,288

1228. Temps nécessaire pour établir le régime. — Nous avons trouvé que pendant la période d'établissement du régime (**1225**), la quantité de chaleur à fournir pendant un temps très court dz est (12)

$$dM = (SQ + V\delta c)(x - \theta)dz + Gdx.$$

Cette chaleur est fournie par l'appareil de chauffage, de la puissance duquel dépend la durée de l'établissement du régime. Désignons par D l'excès de température de l'intérieur sur l'extérieur que cet appareil est capable de maintenir dans l'enceinte quand le régime est établi. D peut servir à mesurer la puissance de cet appareil et sera égal à 25 si l'appareil peut maintenir une différence de 25° entre l'intérieur et l'extérieur.

Lorsque les appareils fonctionnent en plein, on a, pendant la période de régime,

$$dM = (SQ + V\delta c)Ddz$$

et par suite

$$(SQ + V\delta c)Ddz = (SQ + V\delta c)(x - \theta)dz + Gdx$$

d'où, en tenant compte de la relation (14):

$$I\frac{dx}{D + \theta - x} = dz.$$

Si on intègre entre t_0 température initiale et t_1 température finale, on a :

$$\mathrm{I} \log \mathrm{nep} \frac{\mathrm{D}+\theta-t_0}{\mathrm{D}+\theta-t_1}=\mathrm{Z}. \qquad [18]$$

Z est le temps, exprimé en heures, nécessaire pour faire passer l'enceinte d'inertie calorifique I de la température t_0 à la température t_1 avec un appareil de puissance D, la température extérieure étant θ.

Si on ne fournit aucune quantité de chaleur, $\mathrm{D}=0$ et on retrouve l'équation (15) qui n'est qu'un cas particulier de celle-ci et alors la température t_1 est nécessairement plus faible que t_0

En général, pour que Z soit positif, il faut, si $\mathrm{D}+\theta$ est $> t_0$, que

$$\frac{\mathrm{D}+\theta-t_0}{\mathrm{D}+\theta-t_1}>1 \quad \text{ou} \quad t_0<t_1$$

et, au contraire, si $\mathrm{D}+\theta < t_0$ il faut que

$$\frac{t_0-(\mathrm{D}+\theta)}{t_1-(\mathrm{D}+\theta)}>1 \quad \text{ou} \quad t_0>t_1.$$

La température finale t_1 sera plus grande ou plus petite que la température initiale, suivant que D sera plus grand ou plus petit que $t_0-\theta$, ce qu'on pouvait prévoir à priori.

La puissance de l'appareil de chauffage nécessaire pour chauffer une enceinte dans un temps donné se détermine au moyen de l'équation (18) qu'on peut mettre sous la forme

$$\frac{\mathrm{D}+\theta-t_1}{\mathrm{D}+\theta-t_0}=e^{-\frac{\mathrm{Z}}{\mathrm{I}}}=b \qquad [19]$$

d'où on tire :

$$\mathrm{D}=-\theta+\frac{t_1-bt_0}{1-b}. \qquad [20]$$

Cette relation donne la puissance de l'appareil de chauffage capable de faire passer dans le temps Z la température de l'en-

ceinte dont l'inertie calorifique est I de la température t_0 à la température t_1, la température extérieure étant θ.

Au bout d'un temps quelconque Z, la température t est

$$t = (D+\theta)(1-b) + bt_0$$

d'où :

$$t - t_0 = (D+\theta-t_0)(1-b)$$

ce qui montre encore que, comme $b = e^{-\frac{Z}{I}}$ est plus petit que 1, la température t est plus élevée ou plus faible que t_0 suivant que $D+\theta$ est lui-même plus grand ou plus petit que t_0 ou encore, que l'excès D est supérieur ou inférieur à $t_0-\theta$.

1229. Chauffage intermittent. — Dans nombre de cas, le chauffage se fait d'une manière intermittente; pendant la nuit on cesse ordinairement d'alimenter le foyer pendant plusieurs heures, et on laisse le feu s'éteindre, ce qui oblige à le rallumer à chaque reprise.

Lorsque la durée de l'interruption des chargements n'est pas trop grande, il vaut mieux couvrir le feu avec des cendres de manière à modérer la combustion et la maintenir plus longtemps afin qu'à la reprise il suffise de fourgonner et de charger à nouveau pour rétablir une combustion active et relever la température.

Pendant l'interruption des chargements, la chaleur dégagée étant plus faible, la température des pièces chauffées tend à diminuer, mais, quand les murs sont suffisamment épais, la chaleur qui s'y trouve accumulée empêche un refroidissement trop brusque.

Les formules précédentes permettent de se rendre compte des variations de température suivant la durée de l'interruption du chauffage. Supposons qu'on interrompe le chargement pendant le temps Z_1 et que, pendant ce temps, le feu couvert ait une puissance représentée par D_1; la température au moment de l'interruption étant T_0 et la température extérieure θ, la température T_1 de l'enceinte au bout du temps Z sera (20)

$$T_1 = (D_1+\theta)(1-b_1) + b_1 T_0 \qquad \text{et} \qquad b_1 = e^{-\frac{Z}{I}}.$$

Lorsqu'on reprend le service en poussant le feu, l'appareil ayant une puissance représentée par D_2 et T_2 étant la température après le temps Z_2, on a

$$T_2=(D_2+\theta)(1-b_2)+b_2T_1 \qquad b_2=e^{-\frac{Z}{I}}$$

et en éliminant T_1 entre ces deux équations, on trouve

$$D_2=-\theta+\frac{T_2-b_2(D_1+\theta)(1-b_1)-b_1b_2T_0}{1-b_2}. \qquad [22]$$

Cette relation donne la puissance de l'appareil de chauffage capable de relever la température de T_1 à T_2 dans le temps Z_2 après une interruption de chauffage d'une durée Z_1 dans les conditions indiquées.

Quand le feu n'est pas couvert et s'éteint complètement, il faut faire $D_1=0$.

1230. Applications. — Supposons par exemple que l'interruption des chargements soit de 8 heures ($Z_1=8$) et qu'on veuille après la reprise relever la température en 2 heures ($Z_2=2$), on trouve en prenant

$$D_1=10 \quad T_0=16 \quad T_2=15 \quad \theta=-9 \quad I=10$$

$$b_2=e^{-\frac{2}{10}}=0,819 \quad b_1=e^{-\frac{8}{10}}=0,450$$

$$D_2-9=\frac{15-0,819\times 1\times 0,55+0,368\times 16}{0,181}$$

$$=\frac{15-0,45+5,888}{0,181}=112$$

$$D_2=121.$$

Ainsi, pour une enceinte d'inertie $I=10$, si on veut pouvoir relever la température à 15° en 2 heures après une interruption de chauffage de 8 heures, le feu étant resté couvert pendant ce temps, il faudra un appareil d'une puissance représentée par 121, alors que la puissance, pour un régime régulier, est seulement de 25.

Si l'inertie était seulement de $I=5$, le calcul montre que la puissance des appareils devrait être 41,3.

Dans les conditions ordinaires il suffit, pour le chauffage in-

termittent des lieux habités, d'augmenter de 50 à 80 p. 100 la puissance de l'appareil de chauffage, calculée dans l'hypothèse du régime établi.

1231. Exposé sommaire des règles à suivre pour le chauffage des lieux habités. — Nous venons de voir que, pour conserver dans une enceinte quelconque une température constante, il suffit d'y dégager à chaque instant autant de calories qu'il s'en perd à travers les diverses parois refroidissantes.

Lorsqu'il s'agit du chauffage d'une *enceinte habitée*, le problème est moins simple, car le maintien d'une température convenable n'est plus alors le seul résultat à atteindre ; dans ce cas, en effet, il est indispensable, tout en assurant le chauffage, de faire en sorte que la ventilation puisse être effectuée comme nous l'avons dit, et que, en particulier, l'air neuf puisse être introduit à une température très modérée.

On ne peut donc songer à faire apporter par cet air les calories nécessaires pour compenser les déperditions par les diverses parois refroidissantes, *il faut donc chauffer celles-ci directement.*

Ce procédé présente d'ailleurs l'avantage de supprimer les courants froids descensionnels qui se manifestent d'une façon si gênante le long des fenêtres et des murs extérieurs quand on ne prend pas de dispositions spéciales pour les éviter [1].

Indépendamment de cette condition primordiale, dont M. le professeur Émile Trélat a depuis longtemps proclamé toute l'importance, il y en a d'autres, deux surtout, auxquelles devrait satisfaire toute installation de chauffage, à savoir :

L'indépendance des divers locaux.

Le réglage facile, et autant que possible automatique, de la température.

On ne peut pas toujours observer les règles que nous venons d'indiquer ; mais on devra tout au moins s'efforcer de s'en écarter le moins possible.

[1] L'existence de ces courants a été maintes fois constatée de la manière la plus nette, en particulier sur la plupart des scènes de théâtre, depuis qu'on y a substitué l'électricité au gaz pour le service des herses.

On est en effet trop souvent conduit à recourir par économie, soit à l'emploi de poêles qui se prêtent mal à l'accomplissement du programme très succinctement tracé ci-dessus, soit à des calorifères à air chaud qui ne permettent de le suivre qu'en partie et dans des conditions toutes spéciales que nous indiquerons plus loin.

§ VI

APPAREILS DE CHAUFFAGE

1232. Historique. — Les appareils employés pour le chauffage des habitations sont restés pendant longtemps d'une extrême simplicité et fort peu variés dans leurs dispositions.

L'appareil le plus en usage chez les anciens Romains était un brasier portatif (*foculus*) placé ordinairement sur un trépied quelquefois richement orné et dans lequel on brûlait de la braise ou du bois préparé pour ne pas produire de fumée. C'était à peu près le *brasero* encore employé en Espagne et dans le midi de la France.

Dans certains cas, on disposait au milieu des pièces un âtre avec une barre de fer reposant sur des supports qui la surélevaient un peu au-dessus du sol et sur laquelle s'appuyaient les morceaux de bois en combustion. La fumée se dégageait simplement par une ouverture percée au plafond.

Le chauffage de certaines salles dans les palais et les thermes s'effectuait au moyen d'un appareil désigné sous le nom de *Hypocaustum*.

Le sol de la salle était supporté par un grand nombre de piliers ou de petits murs en briques de manière à ménager sous toute sa surface un espace vide dans lequel on faisait circuler les gaz chauds provenant d'un foyer placé en contre-bas et qu'on pouvait alimenter du dehors. Les gaz chauffaient la voûte de l'hypocaustum et, par transmission, la salle située au-dessus.

Des conduits verticaux appliqués contre les murs servaient aussi quelquefois à chauffer les parois.

Dans certaines installations, l'air chaud était conduit aux étages supérieurs au moyen de tuyaux spéciaux. Pline, dans la description de sa maison de campagne, parle d'un appareil de chauffage qui fournissait de l'air chaud par une étroite ouverture qu'on pouvait ouvrir ou fermer à volonté comme nos bouches de chaleur actuelles.

Pendant longtemps, l'âtre au milieu de la pièce et le foyer portatif furent à peu près les seuls appareils de chauffage. Ce n'est qu'au moyen âge qu'on paraît avoir repris l'idée d'évacuer la fumée au moyen de conduits montants, placés dans les murs et c'est ce qui donna naissance aux cheminées à feu découvert [1].

Beaucoup plus tard, enfin, on imagina les poêles avec foyers clos pour mieux utiliser la chaleur.

Les autres appareils, tels que les calorifères à air chaud et surtout les systèmes à vapeur et à eau chaude, sont d'invention relativement très moderne.

Les appareils de chauffage actuellement employés peuvent se diviser en six classes:

1° Cheminées d'appartement à feu découvert;

2° Poêles ;

3° Calorifères à air chaud;

4° Appareils à eau chaude;

5° Appareils à vapeur;

6° Appareils mixtes à eau et à vapeur.

Dans les deux premiers modes de chauffage, le foyer est placé dans l'enceinte même à chauffer qui reçoit directement la chaleur. Dans le cas des cheminées à feu découvert, le chauffage est obtenu par le rayonnement du combustible incandescent; les poêles chauffant à la fois par le rayonnement de leurs parois et par la convection de l'air qui remplit la pièce.

Dans ces deux modes de chauffage, la combustion se faisant

[1] Les Romains se servaient de cheminées pour se débarrasser de la fumée, ainsi que le prouve le conduit vertical à base évasée que nous avons pu voir au-dessus de la bouche du four de la maison dite du boulanger, à Pompéi.

dans l'enceinte même, il n'y a pas de perte dans le transport de la chaleur.

Dans les quatre autres systèmes, le foyer est placé en dehors de l'enceinte à chauffer et la chaleur est transmise à l'aide d'un véhicule, l'air chaud pour les calorifères, l'eau pour le chauffage par circulation d'eau chaude, la vapeur pour le chauffage à vapeur, enfin, la vapeur et l'eau pour le chauffage mixte.

§ VII

CHEMINÉES D'APPARTEMENT

1233. Cheminée de Conisborough. — Jusqu'au moyen âge, le chauffage des lieux habités paraît s'être effectué, comme nous venons de le dire, au moyen de *brasiers* portatifs ou d'un

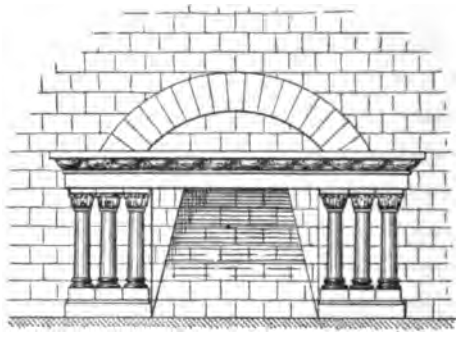


Fig. 667.

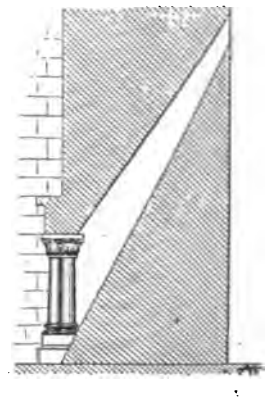


Fig. 668.

âtre disposé, comme chez les Romains, au milieu de la pièce; les morceaux de bois étaient soutenus par des *landiers*, ou supports en fer, et la fumée se dégageait dans l'enceinte même pour s'échapper à l'extérieur par des ouvertures percées au plafond.

On a trouvé dans quelques constructions du XIIe siècle une

disposition qui peut être considérée comme l'origine de la cheminée d'appartement. Les figures 667-668 représentent une cheminée du château de Conisborough.

L'âtre est adossé contre la paroi du mur extérieur ; il est surmonté d'un manteau en pierres de taille reposant sur des jambages ornés de colonnettes. La fumée se dégage par un conduit percé obliquement dans le mur. On n'avait évidemment qu'une vague idée du tirage produit par l'action d'une colonne verticale de gaz chauds et on se préoccupait seulement de se débarrasser de la fumée.

Plus tard, on a fait monter les conduits jusqu'au-dessus des toits pour utiliser la force ascensionnelle du courant de gaz chauds. Ces conduits avaient de grandes dimensions et étaient isolés pour chaque cheminée; comme ils faisaient beaucoup de saillie sur les murs, on avait soin de ne pas placer les unes au-dessus des autres les cheminées des divers étages.

Plus tard enfin, on fit ces conduits en forme de rectangles très aplatis afin de pouvoir les adosser les uns contre les autres pour les cheminées superposées comme le montre la figure 668.

Dans les cheminées construites au moyen âge, l'âtre adossé au mur était surmonté d'un large manteau en maçonnerie ou en charpente sous lequel plusieurs personnes pouvaient trouver place ; des sièges étaient même disposés pour les recevoir. Ces vastes cheminées au manteau richement décoré contribuaient à l'ornementation des grandes salles monumentales de cette époque.

Les dimensions des tuyaux de fumée étaient en rapport avec celles de la cheminée ; on leur donnait, comme nous l'avons dit, une forme rectangulaire, aplatie ; cette forme est mauvaise parce que le courant de gaz chauds n'occupe le plus souvent qu'une partie de la section et qu'il se produit dans l'autre partie un courant en sens inverse qui ramène de la fumée dans la pièce. Cette grande section avait, en outre, l'inconvénient de déterminer l'appel d'un énorme volume d'air qui entrait par les joints des portes et des fenêtres mal closes et se dirigeait vers la cheminée en donnant naissance à des courants

d'air fort incommodes, dont on était obligé de se préserver plus ou moins bien au moyen de paravents.

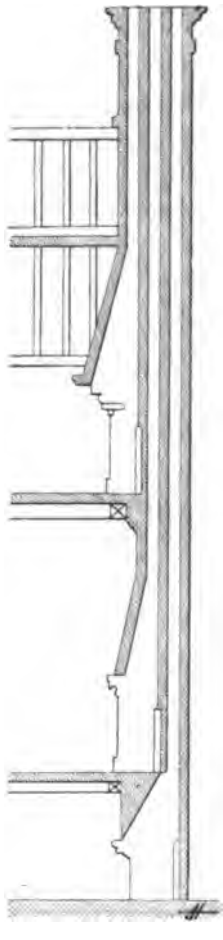


Fig. 669.

La réduction de la hauteur des pièces conduisit naturellement à une réduction dans les dimensions des cheminées d'appartement. On abaissa peu à peu le manteau, on réduisit les sections des conduits de fumée.

Des ordonnances royales de 1712 et de 1723 fixèrent la section minima des conduits de cheminée à 3 pieds (0,975) [1] sur 10 pouces (0,27) afin de laisser au ramoneur un passage suffisant.

Ces ordonnances sont aujourd'hui complètement caduques et les tuyaux des cheminées modernes d'appartement ont des sections bien inférieures à celles qu'elles prescrivaient, ce qui n'a pas d'inconvénients avec les procédés actuels de ramonage.

1234. — A diverses époques, des architectes, des physiciens, préoccupés des nombreux inconvénients des cheminées sous le rapport des courants d'air, de la faible utilisation du combustible et surtout de la fumée qui se répandait dans les pièces, cherchèrent à y remédier. Rumford surtout fit de la cheminée une étude très approfondie, et, après de nombreux essais, en vint à formuler des règles pour la construction des nouvelles cheminées ou la modification des anciennes. Ces règles ont servi de base à la construction des cheminées modernes.

Rumford prescrit d'abord de réduire la profondeur et la largeur de l'âtre et il indique le tracé suivant :

(1) Mesures françaises.

L'âtre ordinaire étant représenté par le rectangle ABCD (fig. 670), on mène par les points A et D deux lignes inclinées à 45° sur les côtés AB, CD, et on les recoupe par une droite parallèle à AD et égale au tiers de cette longueur. La ligne brisée ainsi tracée est la forme du nouvel âtre. On monte verticalement suivant cette ligne le contre-cœur et les murs latéraux, puis on construit en avant le manteau de la cheminée, de manière à laisser une largeur de 4 pouces [1] (0,10) à la gorge E de la cheminée. La partie rétrécie QE doit avoir 6 pouces (0,15) au moins de hauteur et, à son entrée Q est ménagé un évasement. La distance GQ de la grille au-dessous du manteau est de 14 à 20 pouces (0,375 à 0,50) suivant la hauteur du tuyau de fumée. La grille doit avoir de 6 à 8 pouces (0,15 à 0,20) de profondeur et la face GF ne doit jamais être en saillie sur la face SP du manteau; si celui-ci avait une épaisseur insuffisante, il faudrait construire le contre-cœur en surplomb, en laissant toujours 4 pouces pour la largeur de la gorge de la cheminée. En ce point, on met une tuile qu'on enlève pour le ramonage mais qu'il faut toujours replacer avec soin. Rumford recommande de ne pas remplir l'espace situé derrière cette tuile, ce qui permet, dit-il, de s'opposer à l'effet des vents.

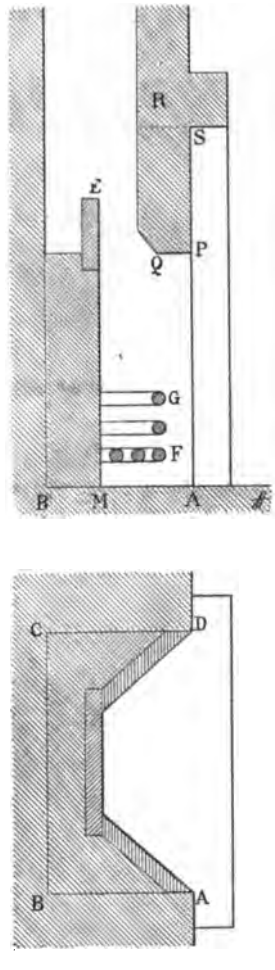


Fig. 670.

Les dispositions imaginées par Rumford produisirent une amélioration sensible dans le fonctionnement des cheminées d'appartement.

[1] Mesures anglaises.

1235. — Lhomond les compléta par l'addition d'un rideau mobile devant l'ouverture du foyer. En baissant cette sorte de trappe, on force l'air à passer sur le combustible et on augmente l'intensité du tirage de sorte que l'allumage est activé et facilité. Enfin l'emploi, pour les parois latérales, de la faïence plus propre, plus facile à entretenir et en même temps réfléchissant mieux les rayons calorifiques, a constitué un dernier perfectionnement.

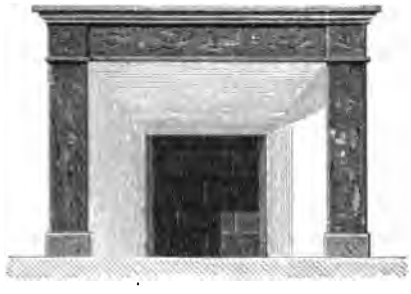


Fig. 671.

Les figures 671 et 672 représentent une cheminée d'appartement telle qu'on les construit ordinairement à Paris.

L'âtre est établi en matériaux incombustibles et isolé avec soin, au moyen d'un chevêtre, des solives du plancher, quand celles-ci sont en bois. On monte à la largeur de la cheminée deux jambages formant saillie sur le mur auquel est adossé le

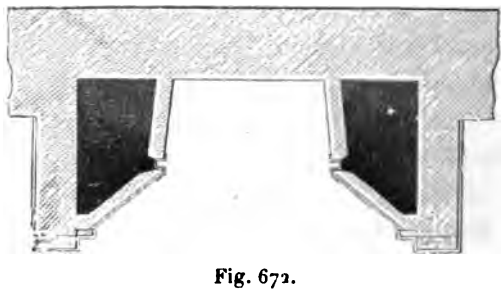


Fig. 672.

foyer; ces jambages supportent des linteaux en fer sur lesquels repose un manteau en plâtre qui complète l'ossature de la cheminée. A l'intérieur de cet encadrement on construit l'âtre proprement dit, en disposant deux petits murs sensiblement parallèles aux jambages pour réduire les dimensions du foyer, et sur l'avant desquels on fixe un cadre en laiton qui porte les plaques du rideau mobile ainsi que leurs contre-poids. Ce cadre

porte aussi des rainures dans lesquelles viennent s'emboîter des panneaux de faïence raccordant obliquement l'ouverture du foyer avec les jambages et le manteau. Au fond du foyer, on scelle une plaque de fonte pour préserver la maçonnerie et on recouvre les jambages, l'avant et le dessus du manteau de plaques de marbre plus ou moins ornées.

Une plaque de marbre est également disposée en avant de l'âtre pour isoler le foyer des frises du parquet. Le rideau mobile est ordinairement formé de trois feuilles rectangulaires en tôle glissant l'une devant l'autre et équilibrées par un ou deux contre-poids (fig. 673).

Fig. 673.

Pour éviter que les cheminées ne fument, au moment de l'allumage, et aussi pour supprimer autant que possible les rentrées gênantes d'air froid par les fissures des portes et des fenêtres, il est indispensable que l'air puisse pénétrer dans les appartements par des conduits débouchant à l'extérieur par des orifices connus sous le nom de *ventouses*.

Ces conduits sont logés dans l'épaisseur des planchers, entre les lambourdes ; ils sont formés de deux languettes en plâtre recouvertes d'une tuile. Leur section qui devrait être à peu près égale à celle de la cheminée est en général beaucoup trop faible.

Les dimensions de la cheminée et du cadre du foyer varient avec la capacité des pièces chauffées. Pour les très petites pièces, on fait les cheminées de $0^m,80$ de large et le cadre du rideau est réduit à $0^m,40$ de côté. Le plus souvent on donne aux cheminées de 1 mètre à $1^m,10$ de largeur avec cadre de $0^m,50$ à 0^m60; mais, pour les grandes pièces, on leur donne des dimensions bien supérieures, la largeur du cadre pouvant alors atteindre $0^m,75$ et celle de la cheminée $1^m,50$ ou même davantage.

On emploie de préférence le bois comme combustible dans les cheminées d'appartement ; on place les bûches, sciées

de longueur, sur des chenets en fonte ou en fer, qui supportent le combustible et permettent l'accès plus facile de l'air et l'accumulation des cendres. Le bois produit une flamme vive et claire qui donne, dans un appartement, de la gaîté et de la vie. Quand il est arrivé à l'incandescence, son rayonnement est agréable et modéré. Avec nos habitudes et nos goûts, le feu de bois est particulièrement apprécié et ce n'est le plus souvent que par raison d'économie qu'on emploie la houille ou le coke dans les cheminées d'appartement.

La combustion de la houille donne naissance à une flamme rouge sombre, souvent fumeuse, presque toujours accompagnée d'odeurs sulfureuses fort désagréables qui se répandent dans les appartements; elle donne également lieu à des poussières fuligineuses qui ternissent les meubles et les tentures. Enfin, le rayonnement de la houille incandescente est brutal et souvent même insupportable.

Le coke brûle à peu près sans flamme; il est, par suite, difficile à allumer et s'éteint facilement. Son rayonnement est encore plus gênant que celui de la houille. Malgré cela, il est préféré par beaucoup de personnes parce qu'il donne peu de fumée.

Pour brûler la houille ou le coke, il faut se servir de grilles que l'on se contente quelquefois de placer dans la cheminée, au milieu de l'âtre, en remplissant les vides latéraux qui peuvent exister par des briques ou simplement par des cendres.

Le plus ordinairement, on emploie des foyers spéciaux qui se composent d'une coquille en fonte avec un encadrement qui vient s'adapter exactement dans le cadre de la cheminée. Pour mieux utiliser le rayonnement, la grille en corbeille fait saillie sur ce cadre. La fumée se dégage par une tubulure prise dans le fond de la coquille. Le tout s'enlève pour le ramonage.

Il n'est plus possible, en raison de la saillie de la grille, de se servir pour l'allumage du rideau ordinaire à 3 feuilles généralement employé; on a recours à un *souffleur*, espèce de coquille en tôle, qu'on accroche à l'avant, de manière à bien emboîter le cadre du foyer et à forcer l'air à passer sur le combustible; on retire le souffleur quand le tirage est établi.

1236. Cheminée Arnott. — La cheminée du docteur Arnott (fig. 165-166) comprend une capacité à fond mobile ou boîte à feu pouvant contenir une forte provision de houille. Un piston, mû par un levier, qu'on peut fixer dans diverses positions au moyen d'arrêts successifs, permet de relever le fond de la caisse et d'amener du combustible frais devant la grille verticale de la cheminée au fur et à mesure que la combustion s'avance. Cette cheminée est sensiblement fumivore, mais son mécanisme doit être sujet à dérangement. Cet appareil n'a guère été employé qu'en Angleterre.

1237. Cheminées prussiennes. — On emploie assez fréquemment des cheminées dites prussiennes, constituées par une sorte de caisse en tôle renfermant un foyer dont la partie antérieure est ouverte et munie d'un rideau semblable à celui des cheminées ordinaires. Le tuyau de fumée s'élève verticalement dans la pièce, fait un coude d'équerre et se raccorde avec un conduit de fumée réservé dans la construction. Ces appareils, placés à l'intérieur des pièces, ont l'avantage de chauffer par leur surface extérieure, en même temps que par le rayonnement du foyer, ils sont de plus très faciles à installer ; mais ils ont l'inconvénient de pouvoir occasionner des incendies, attendu qu'ils sont le plus souvent établis directement sur les planchers dont ils sont isolés par une simple feuille de tôle.

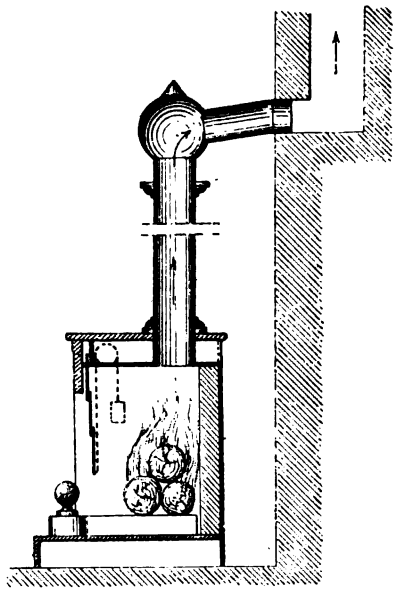


Fig. 674.

1238. Mesure de la chaleur rayonnée par un foyer. — Soit M la chaleur rayonnée par heure dans un appartement

par un foyer découvert ; la formule générale relative au rayonnement est (n° 77)

$$M = 124.72 r S(a^t - a^\theta).$$

r coefficient de rayonnement ;
S surface de rayonnement ;
t température de cette surface ;
θ température de l'enceinte.

Exposons au rayonnement du foyer, à une distance D, une sphère en cuivre, pleine d'eau, de diamètre d, dont la surface est recouverte de noir de fumée. Elle recevra par heure une quantité de chaleur m qui sera très sensiblement à M dans le rapport du grand cercle $\frac{\pi d^2}{4}$ à la demi-sphère de diamètre D, soit $\frac{D^2}{2}$. On a

$$m = M \frac{d^2}{2D^2}.$$

Pour avoir M, il suffit de connaître m.

Lorsque la température t de l'eau de la sphère se maintient constante, il y a égalité entre la chaleur reçue par le rayonnement du foyer sur une demi-sphère et la chaleur perdue par la sphère tout entière dans l'enceinte

$$m = \pi d^2 Q(t - \theta).$$

Q étant le coefficient de transmission.

Pour connaître m et par suite M, il suffit de déterminer Q. Pour cela, mettons un écran devant le foyer et exposons la sphère au refroidissement dans l'enceinte à la température θ.

Soient : P le poids de l'eau et du cuivre et c la chaleur spécifique moyenne de ces deux corps. Pc est la chaleur nécessaire pour élever de 1° la température de toute la masse. Dans le temps infiniment petit dz la température s'abaisse de dt et on a :

$$-Pc\,dt = \pi d^2 Q(t - \theta)dz$$

d'où on déduit

$$-Pc\frac{dt}{t-\theta}=\pi d^2Qdz$$

et en intégrant pour un temps quelconque z, les températures limites étant t_1 et t_2, on a :

$$Pc\log.\text{nep.}\frac{t_1-\theta}{t_2-\theta}=\pi d^2Qz.$$

En observant le refroidissement de la sphère pendant quelques minutes, on note les températures successives t_1, t_2, t_3, et on a pour ces différentes températures les valeurs de Q correspondantes dont on prend la moyenne. On en déduit m et ensuite M.

La chaleur rayonnée n'étant, d'après Péclet, que la moitié au plus de la chaleur totale que peuvent fournir la houille ou le coke bien enflammés et les rayons calorifiques étant pour la moitié au moins envoyés sur les parois et le fond de l'âtre, on voit que la chaleur rayonnée dans l'appartement n'est environ que le quart de celle qui est produite par la combustion.

Comme, dans la période d'allumage, une partie de la surface du combustible n'est pas incandescente, le rayonnement diminue en conséquence et on ne saurait compter en moyenne sur plus de 15 p. 100. Avec le bois qui rayonne moins que la houille et le coke, l'utilisation est encore plus faible.

1239. Conduits de fumée, mitres. — Il importe que chaque cheminée d'appartement soit munie d'un tuyau de fumée spécial et distinct montant jusqu'au-dessus des toits. Pour les maisons à plusieurs étages, ces tuyaux se juxtaposent soit contre les murs, soit dans leur épaisseur et, dans ce cas, leur section ne peut être inférieure à 4^{dm^2}. Il n'est pas toujours possible de monter les tuyaux de fumée suivant une verticale. A Paris (Arrêté du 15 janvier 1881), ils ne doivent jamais former, avec la verticale, un angle de plus de 30°. Les tuyaux de fumée se terminent à leur partie supérieure par une souche de cheminée, construction évidée, terminée souvent par un couronnement en pierre qui ne peut s'élever à plus de $0^m,60$ au-

dessus du faîtage. C'est sur ce couronnement que se fixent les mitres au-dessus de chaque tuyau. Ces mitres constituent une espèce d'ajutage conique qui réduit aux deux tiers la section de sortie. Le débit de la cheminée diminue, par suite aussi les pertes de charge résultant de l'écoulement ; la pression motrice totale restant constante, la puissance vive des gaz à la sortie est augmentée, ce qui rend le tirage plus stable.

Les dimensions d'une cheminée et du tuyau de fumée correspondant doivent être en rapport avec celles du local à chauffer.

Voici, d'après le général Morin, les proportions à adopter. d'après la capacité des salles :

Cube des locaux en M.C.	Section du tuyau de fumée en D.Q.	Côté du tuyau carré.
45^{m^3} à 60	3^{dq},4	0,185
60 à 80	4 ,0	0,20
80 à 100	5 ,6	0,24
100 à 150	7 ,3	0,27
150 à 200	9 ,0	0,30

Ces dimensions correspondent à une section de tuyau de fumée de 5 à 6 décimètres carrés environ par 100 mètres cubes de capacité.

Les petites cheminées pouvant déterminer l'appel d'un volume d'air de 400 à 500 mètres cubes, les grandes de 1 000 à 1500 mètres cubes, ces appareils effectuent un renouvellement de 8 à 10 fois par heure le cube de l'enceinte.

Le poids de combustible brûlé par décimètre carré de cheminée varie suivant l'activité de la combustion, pour le bois de 0^{kg},45 à 1^{kg},50, pour la houille et le coke de 0^{kg},15 à 0^{kg},50.

D'après cela, on peut brûler dans les cheminées d'appartement, suivant leurs dimensions et l'activité de la combustion, de 1 à 10 kilog. de bois et environ le tiers de houille ou de coke.

Dans les maisons de cinq à six étages, comme on les construit à Paris, les tuyaux juxtaposés prennent beaucoup de place et affaiblissent les murs. Quand ils sont logés dans leur épaisseur, ils gênent pour la pose des solives. Il en est de même quand ils sont adossés et, de plus, ils sont alors encombrants.

On a essayé de faire évacuer la fumée des cheminées des divers étages superposés dans un tuyau unique de grande section et régnant sur toute la hauteur du bâtiment. A chaque étage, la fumée se déverse dans le tuyau où elle se mélange à celle des étages inférieurs. La construction est ainsi simplifiée et l'espace occupé par le tuyau de fumée est notablement moindre que lorsqu'on établit un conduit par cheminée. Cette disposition est contraire aux règlements de police, elle peut donner lieu à des accidents graves d'empoisonnement par l'oxyde de carbone surtout lorsque, parmi les appareils branchés sur le tuyau unitaire, il se trouve des poêles à combustion lente.

Les ordonnances de police de 1875, concernant les incendies, défendent l'établissement des conduits unitaires de fumée :

Art. 8. — Tout conduit de fumée doit, à moins d'autorisation spéciale, desservir un seul foyer et monter dans toute la hauteur du bâtiment sans ouverture d'aucune sorte dans tout son parcours.

En conséquence, il est formellement interdit de pratiquer des ouvertures dans un conduit de fumée traversant un étage, pour y faire arriver de la fumée, des vapeurs où des gaz, où même de l'air.

1240. Cheminées perfectionnées. — Quel que soit le combustible employé dans une cheminée, bois, houille, coke, le rendement calorifique est toujours très faible. On n'utilise au chauffage qu'une minime fraction de la chaleur dégagée par le combustible; la plus grande partie est emportée dans le tuyau de fumée par les gaz de la combustion et se perd dans l'atmosphère. La cheminée ordinaire est donc, au point de vue de l'effet utile, un très mauvais appareil de chauffage et son faible rendement calorifique est encore diminué parce qu'elle produit un appel exagéré de l'air extérieur, qui pénètre par les fissures des portes et des fenêtres en occasionnant des courants froids souvent insupportables.

On a cherché de bien des manières à augmenter l'effet utile des cheminées tout en conservant la vue si agréable du feu. Nous allons passer en revue quelques-unes des principales dispositions imaginées dans ce but.

1241. — Pour mieux utiliser le rayonnement, *Bronzac* a

placé le foyer sur un chariot mobile en fonte, roulant sur des galets (fig. 675). Pour l'allumage, on pousse le foyer au fond de l'âtre, afin de pouvoir baisser le rideau ; puis, quand le tirage est établi, on le ramène dans la pièce.

Fig. 675.

Cet appareil a eu une certaine vogue. Il avait évidemment l'inconvénient de laisser dégager, dans le local où il était placé, une partie des gaz de la combustion.

On a également construit des foyers mobiles munis de tuyaux à joints télescopiques, permettant de les tirer en avant ; mais cette disposition est abandonnée.

Les recherches des constructeurs ont eu surtout pour but l'utilisation de la chaleur emportée par la fumée.

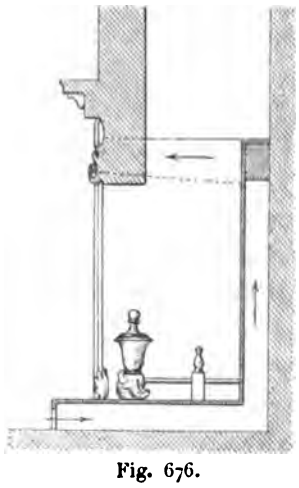


Fig. 676.

1242. — Dès 1620, l'architecte *Savot* fit établir dans une cheminée du cabinet des Livres, au Louvre, un appareil construit dans ce but. Il se composait (fig. 676) d'une caisse en tôle, recourbée à angle droit, formant le dessous et le fond de l'âtre. Le foyer chauffait les parois de la caisse par rayonnement et par le contact des gaz de la combustion.

L'air pris dans la pièce pénétrait à l'avant de la caisse, passait sous le foyer, et s'élevait derrière la paroi du fond. Il s'échappait enfin dans la pièce par deux conduits latéraux et deux bouches de chaleur placées près des angles supérieurs de la façade de la cheminée. Cette disposition a servi de point de départ pour la construction de nombreux appareils employés de nos jours.

1243. — Dans un traité qu'il publia sur les cheminées (*La mechanique du feu*), *Gauger* indique une disposition analogue à celle imaginée par Savot. Dans la caisse du fond, il établit des cloisons verticales ou horizontales, afin d'augmenter la durée du contact de l'air avec les parois.

En vue de diminuer l'afflux de l'air par les portes et les fenêtres, il imagina de le faire arriver par un orifice placé en avant du foyer et dont on pouvait régler la section au moyen d'une plaque mobile inclinée. C'était comme une sorte de soufflet qui projetait sur le foyer l'air arrivant de l'extérieur. Ce soufflet permettait, dans une certaine mesure, de faciliter l'allumage et d'empêcher les cheminées de fumer.

1244. Cheminées de Péclet. — Péclet a indiqué de-

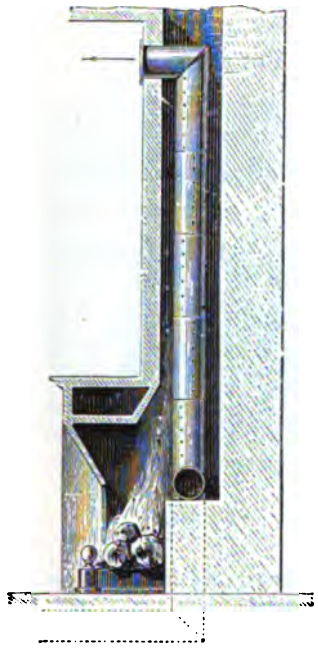


Fig. 677.

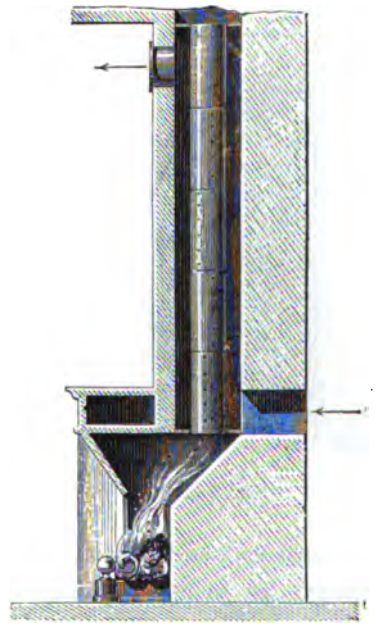


Fig. 678.

puis bien longtemps un moyen d'utiliser la chaleur des gaz de la combustion.

Dans une première disposition, on place, dans le conduit de

fumée, sur la hauteur de l'étage, un tuyau métallique communiquant par le bas avec l'atmosphère, et s'ouvrant en haut dans la pièce où se trouve la cheminée. L'air extérieur se chauffe dans ce tuyau au contact des parois entourées par les gaz de la combustion, s'élève en produisant un appel et vient se déverser par la bouche placée près du plafond. Ce tuyau intérieur gêne pour le ramonage de la cheminée.

La disposition de la figure 676 est analogue à celle qui précède, seulement les gaz de la combustion passent dans le tuyau intérieur et l'air, pris à l'extérieur, circule tout autour pour s'échapper de même dans l'appartement par une bouche placée près du plafond. Avec cette disposition, le ramonage peut se faire comme dans les cheminées ordinaires.

1245. Cheminée Joly. — Dans la cheminée Joly, on dispose, autour du foyer, une coquille en fonte portant des nervures à l'extérieur et dont la section intérieure est un trapèze à angles arrondis. La coquille est installée sur une plaque d'âtre en fonte; ses trois faces se rapprochent et se raccordent à la partie supérieure en

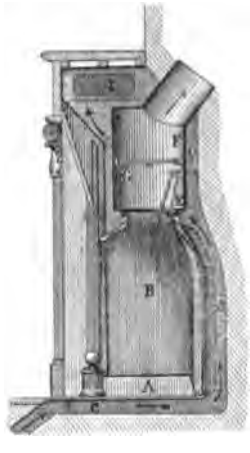


Fig. 679.

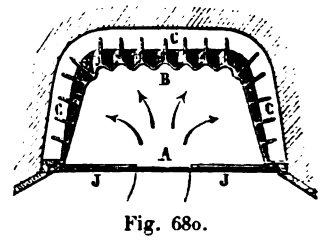


Fig. 680.

formant une sorte de niche dans la paroi de laquelle se trouve réservé un orifice rectangulaire pour le passage de la fumée. Cet orifice peut être fermé au moyen d'un registre qui empêche les refoulements d'air dans la chambre par le tuyau de fumée, lorsque la cheminée n'est pas en service.

Pour augmenter la puissance de l'appareil, on peut placer au-dessus de la coquille un coffre ou tambour métallique.

garni de chicanes intérieures, et formant une surface de chauffe complémentaire (fig. 679). L'appareil est muni d'un registre qui permet de régler le tirage. Les chicanes disposées dans le coffre sont mobiles afin de permettre le ramonage.

L'air neuf affluent est amené par un conduit C de large section établi dans le plancher et débouchant derrière la coquille B.

L'air se chauffe modérément au contact de la surface nervée et du tambour, puis sort par deux bouches latérales I de grande section. Cette disposition paraît la plus simple et la plus efficace de toutes celles qui ont pour but de chauffer l'air de ventilation au moyen de cheminées d'appartement.

1246. Cheminée Fondet. — Cette cheminée (fig. 681) est très répandue à Paris. Elle comprend une caisse B dans

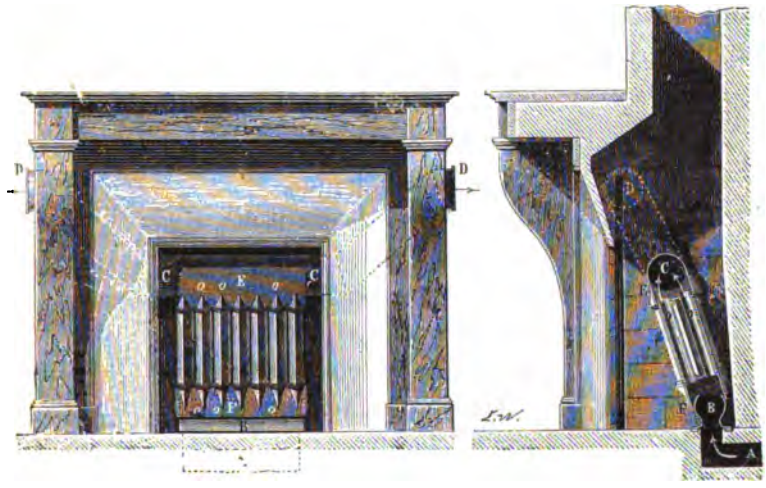


Fig. 681.

laquelle arrive l'air extérieur et qui communique avec une seconde caisse C par une série de petits tubes prismatiques *o*, *o*, disposés en quinconce. On place dans la cheminée l'ensemble du système, en l'inclinant légèrement vers l'avant, de manière à ne laisser entre le cadre du rideau et le tuyau E qu'un passage de 0,07 à 0,08 de largeur pour la fumée.

Les gaz de la combustion se divisent : une partie passe dans

les intervalles des tubes prismatiques et le reste traverse l'espace libre entre le rideau et le tuyau E.

L'air est appelé du dehors dans le conduit AB, s'échauffe en passant dans l'appareil, et, en suivant les tuyaux CD, se rend dans la pièce où il est émis par deux bouches de chaleur DD situées sur les parois latérales de la cheminée. La suie tend à s'accumuler entre les tubes en quinconce et derrière l'appareil, le nettoyage s'effectue au moyen d'une râclette que l'on passe dans les intervalles qui existent entre les tubes.

Certains appareils Fondet présentent à leur base une ouverture maintenue fermée, pendant que la cheminée est en service, par un tampon mastiqué qu'on enlève lorsqu'on veut extraire la suie accumulée derrière l'appareil.

Dans cette cheminée l'utilisation est assez faible ainsi qu'il résulte d'expériences faites par le général Morin et qui ont donné les résultats suivants :

Température de l'air extérieur.	22°
— de la pièce chauffée.	24°
— de l'air fourni par la bouche de chaleur	132°
— de la fumée dans la cheminée.	127°
Volume d'air écoulé par la cheminée. . . .	835^{mc}
— introduit par la bouche de chaleur.	19^{mc}
— par K° de bois.	94^{mc}
Calories absorbées par la fumée.	24 387
— apportées l'air chaud.	435

Avant la pose de l'appareil Fondet, le volume de fumée évacué était de 1300$^{m^3}$, la résistance produite par l'appareil a donc réduit le volume dans le rapport $\frac{835}{1300} = 0,642$, c'est-à-dire environ aux $\frac{2}{3}$ et déjà de ce fait il résulte une économie.

Le volume d'air introduit par la bouche de chaleur est environ 0,022 du volume évacué par la cheminée.

La différence entre l'air évacué et l'air affluent 835 — 20 $= 815^{m^3}$ est fournie par les fissures des portes et des fenêtres.

La chaleur apportée par l'air affluent à 132° est 435 cal., soit environ $\frac{1}{57} = 0,0178$ de celle emportée par la fumée. Si on admet que celle-ci était dans les conditions de l'expérience, les 0,85 de la chaleur totale dégagée par le combustible, l'accroissement de rendement produit par l'adjonction de l'appareil Fondet aurait été de $\frac{0.0178}{0.15 - 0.0178} = 0,14$.

Divers constructeurs ont apporté quelques modifications à l'appareil Fondet, dans le but d'augmenter les sections de passage de l'air neuf et de faciliter le ramonage de la cheminée.

1247. Cheminée Douglas-Galton. — Cette cheminée, dont

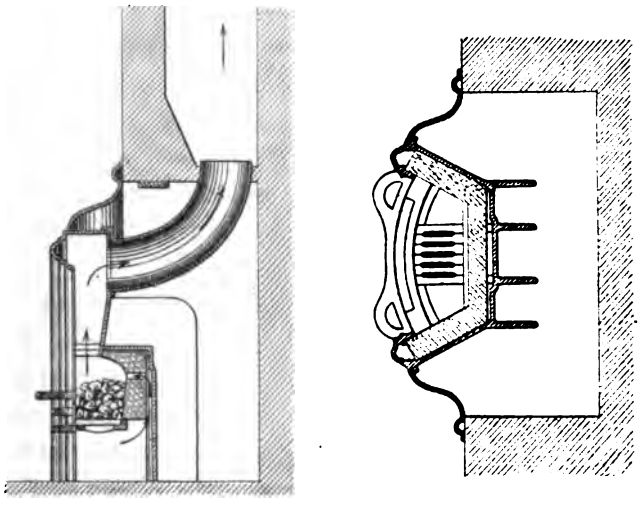


Fig. 682.

le principe fondamental et les proportions générales sont à très peu près ceux indiqués en 1832 par Belmas, capitaine du génie, a été établie dans un grand nombre de casernes et d'hôpitaux militaires d'Angleterre par le capitaine Douglas-

Galton. Elle se compose d'une caisse en fonte avec un foyer à grille pour brûler de la houille ou du coke. Les barreaux n'occupent que 1/3 environ du fond du foyer; le reste est plein afin de diminuer l'accès de l'air et la consommation du combustible.

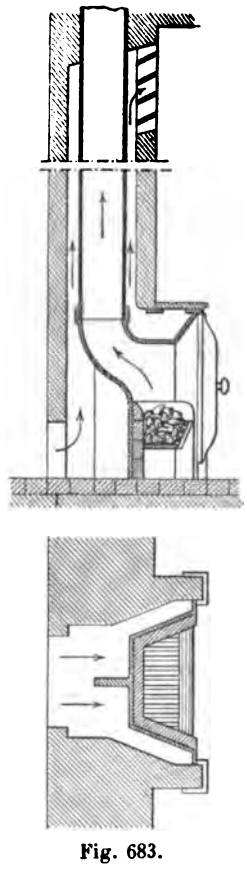


Fig. 683.

Le foyer est garni de pièces réfractaires destinées à préserver la fonte et à fournir de la chaleur par rayonnement. Les pièces du fond du foyer sont isolées de la fonte par un intervalle dans lequel l'air venant du cendrier circule pour venir déboucher au-dessus du combustible à l'arrière du feu par une fente horizontale. Cette disposition aurait pour but de rendre l'appareil fumivore.

La caisse en fonte est munie de nervures qui font saillie dans une chambre disposée à l'arrière et dans laquelle l'air extérieur pénètre pour s'échauffer et se rendre ensuite par un conduit ménagé dans le mur à une bouche de chaleur percée près du plafond. La fumée s'échappe par une tubulure cintrée qui vient s'emboîter dans le tuyau de cheminée.

La prise d'air passe ordinairement sous le plancher et, d'après M. Douglas-Galton, la section doit être calculée à raison de 1 pouce carré pour 100 pieds cubes, ce qui correspond à $0,^{m^2}01$ pour $43^{m^3},87$ de capacité à chauffer. Si le conduit est long, il faut augmenter un peu cette section; s'il est court on peut la réduire un peu; le conduit amenant l'air chaud jusqu'à la bouche de chaleur doit avoir la même section.

Pour augmenter la surface de chauffe et l'effet utile, le *général Morin* a ménagé tout autour du tuyau de fumée (fig. 683), sur la hauteur de l'étage un espace libre pour la circulation

de l'air qui, après s'être échauffé derrière le foyer, absorbe encore de la chaleur au contact du tuyau et vient sortir dans la pièce par une bouche de chaleur ouverte près du plafond.

1248. Cheminées à gaz. — On fait aussi des cheminées chauffées au moyen du gaz. Malgré le prix élevé de ce combustible, son usage est si commode dans certains cas que le nombre de ces appareils augmente tous les jours.

On faisait d'abord arriver le gaz par de petits orifices au con-

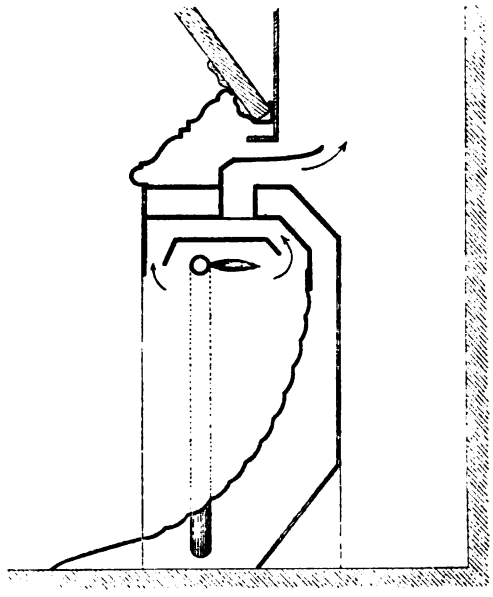


Fig. 684.

tact de corps incombustibles, tels que l'amiante, placés sur des bûches en fonte disposées dans l'âtre d'une cheminée ordinaire de manière à figurer à peu près le feu du bois. L'amiante et la fonte fortement chauffés envoient dans la pièce de la chaleur rayonnante que la flamme seule du gaz ne saurait produire.

Une autre disposition (fig. 684) imaginée récemment par M. Jacquet consiste à établir dans une cheminée ordinaire un réflecteur en cuivre poli et très brillant. Le gaz arrive par un tuyau horizontal, percé d'un grand nombre de petits orifices dis-

posés latéralement, et brûle sous forme de petits jets horizontaux, en chauffant des plaques de tôles placées au-dessus. Le réflecteur renvoie dans la pièce une assez grande quantité de chaleur.

Une consommation de 500 à 700 litres de gaz par heure suffit pour chauffer une pièce de 60 mètres cubes environ.

Observations sur les cheminées a feu découvert.

1249. — Les cheminées à feu découvert constituent pour nos appartements le mode de chauffage le plus employé. Avec nos usages, nos habitudes, nos goûts, une pièce sans cheminée est fort dépréciée.

Pour beaucoup de personnes, la vue du feu est une nécessité. Il n'est pas douteux, du reste, qu'indépendamment de l'animation et de la vie que donne la vue d'un foyer flambant, les rayons lumineux qu'il envoie produisent sur le corps une action physiologique bien différente de celle des rayons obscurs des poêles. C'est comme, à un moindre degré, le même effet que celui des rayons solaires. Un grand avantage du chauffage par radiation, c'est qu'on n'est pas obligé de porter l'air à une température élevée et que la respiration reste facile. Nous avons vu que souvent on dispose dans les cheminées des appareils permettant de chauffer l'air avant son introduction dans les appartements.

Cet air est émis par des bouches d'air chaud, généralement placées sur les côtés de la cheminée. Ces bouches doivent pouvoir être fermées pour empêcher l'accès de l'air froid dans la pièce quand la cheminée n'est pas allumée.

A côté de ses avantages, la cheminée présente de nombreux inconvénients :

Tout d'abord, elle produit un appel d'air excessif, qui se manifeste par des courants insupportables pénétrant par les fissures des portes et des fenêtres.

Son fonctionnement manque de stabilité et de régularité. Lorsqu'on charge le feu le rayonnement et par suite la chaleur

transmise sont presque nuls. Ce n'est que peu à peu, que l'incandescence se produit à la surface et que le rayonnement augmente.

Quand le combustible est bien enflammé, le rayonnement peut être si ardent qu'il faut s'en préserver au moyen d'écrans. Les différentes parties de la pièce sont très irrégulièrement chauffées suivant leur distance au foyer. Il est vrai que ce dernier inconvénient ne serait grave que si les occupants étaient obligés de rester à leur place comme dans une salle d'école, par exemple, mais bien souvent chacun peut, au contraire, se déplacer à son gré et choisir la distance du foyer qui lui convient le mieux.

1250. Dangers d'incendie. — Les feux de cheminée sont assez fréquents ; ils résultent de l'inflammation de la suie qui tapisse les parois des tuyaux de fumée mal ramonés ; cette suie prend feu au contact des flammes du foyer et la combustion s'étend de proche en proche sur toute la hauteur de la cheminée. Il se produit au sommet une gerbe de flammes et d'étincelles. Les tuyaux de fumée en tôle sont plus particulièrement exposés à cet accident, parce qu'il s'y dépose une couche mince et polie de matière combustible, qu'on n'enlève pas par un ramonage ordinaire, et qui, sous l'action de la chaleur, s'exfolie et prend feu. Les feux de cheminées ne sont généralement pas dangereux quand les tuyaux sont solidement construits, mais, s'il y a des crevasses, la flamme peut se communiquer dans l'intérieur des appartements traversés par le tuyau et déterminer un incendie.

A Paris, une ordonnance du préfet de police du 15 septembre 1875 impose de laisser entre le parement intérieur des tuyaux de fumée et tout bois de charpente, un espace de 0.16 au moins.

Pour éteindre les feux de cheminée, il suffit ordinairement de fermer le plus hermétiquement possible l'ouverture du foyer, pour empêcher l'accès de l'air. Pour cela, on baisse le rideau, et on tamponne avec des linges mouillés les fissures qui existent entre ce rideau et le cadre de la cheminée.

Une autre cause d'incendie résulte de ce que le combustible

placé dans le foyer peut rouler sur le parquet, ou de ce que des étincelles peuvent tomber sur les meubles voisins; les garde-feux, les pare-étincelles ne suffisent pas toujours pour préserver des accidents.

Enfin, les foyers de cheminées sont trop souvent la cause de brûlures graves pour les femmes et les enfants, lorsqu'ils viennent à s'approcher imprudemment avec des vêtements légers et inflammables.

La manipulation du combustible, les ramonages répandent dans l'appartement des poussières noires, qui ternissent les meubles et les tentures. C'est une conséquence forcée de la combustion à feu découvert.

1251. Cheminées qui fument. — Les cheminées à feu découvert ont le grave inconvénient de donner souvent lieu à des dégagements de fumée dans les appartements, surtout au moment de l'allumage. Les cheminées peuvent fumer pour plusieurs raisons.

La principale et presque la seule, c'est l'insuffisance des orifices d'admission de l'air extérieur. Trop souvent, on ne ménage aucune ouverture spéciale pour l'amenée de l'air, qui ne peut alors s'introduire que par les fissures des portes et des fenêtres. Quand les joints sont bien ajustés ou munis de bourrelets, l'air extérieur ne peut s'introduire qu'avec difficulté et en quantité insuffisante pour alimenter la combustion.

Dans ces conditions, si le tuyau de fumée est de forme aplatie et d'une section trop considérable, il s'y établira un double courant, ascendant d'un côté pour les gaz de la combustion, descendant de l'autre pour l'air extérieur qui vient alimenter le foyer. Au contact de ces deux courants, il se produit nécessairement des remous et des tourbillons, qui ont pour effet de faire refluer la fumée dans la pièce.

Si le tuyau est trop étroit pour que ces doubles courants puissent s'établir, il donnera issue à un volume de gaz correspondant au volume d'air qui a pu s'introduire par les fissures des portes et des fenêtres. Le reste des gaz dégagés par la combustion se répandra nécessairement dans la pièce.

Cet effet se constate surtout au moment de l'allumage; tant que le tuyau de fumée n'est pas chaud, le tirage ne peut s'établir, et il n'y a pas, dans la salle à chauffer, une dépression suffisante pour y appeler, par les fissures, la quantité d'air nécessaire à la combustion. La fumée se répand donc dans cette salle en proportion plus ou moins grande. En entr'ouvrant une fenêtre, l'air peut pénétrer librement dans la pièce, le dégagement de fumée cesse et le tirage s'établit beaucoup plus facilement; quand le feu est bien allumé, on peut généralement refermer la fenêtre sans que la fumée se dégage de nouveau. Mais l'ouverture d'une fenêtre, surtout dans les temps froids, n'est pas sans inconvénients.

La première condition pour qu'une cheminée fonctionne régulièrement, c'est qu'elle soit convenablement alimentée d'air, et il faut, pour cela, établir avec l'extérieur des communications de section suffisante. Dans les conditions ordinaires, on peut prendre pour la section des conduits d'air neuf de 5 à 6 décimètres carrés pour 100 mètres cubes de capacité. Mais ces larges conduits sont, le plus souvent, assez difficiles à loger dans les planchers, et on se contente presque toujours d'une section beaucoup moindre.

Si l'air est renouvelé à raison de n fois par heure dans un local de capacité A, on a la relation

$$v\omega = \frac{nA}{3600}$$

v = vitesse de l'air par seconde,
ω = section du conduit.

Si on prend, comme cela a lieu trop souvent

$$\omega = 0{,}0002A$$

c'est-à-dire si on donne aux conduits d'amenée d'air une section de 2 décimètres carrés par 100 mètres cubes de capacité, on aura

$$v = \frac{n}{0{,}72}.$$

Comme l'appel par la cheminée permet de renouveler, par heure, 5 fois au moins le cube de la pièce, on voit que si tout l'air passait par le conduit ménagé dans ce but, il faudrait qu'il fût animé d'une vitesse de 7 mètres environ, ce qui est irréalisable. Aussi, dans la plupart des cas, les ventouses ne suffisent pas pour alimenter les cheminées qu'elles desservent; le complément est fourni par les fissures des portes et des fenêtres.

1252. Insuffisance de tirage. — La fumée se produit avec d'autant plus de facilité que le tirage est plus faible. Celui-ci peut alors être facilement influencé, et même arrêté par l'ouverture ou la fermeture des portes, ou par d'autres circonstances analogues.

L'énergie du tirage croît, comme on le sait : 1° avec l'excès de la température des gaz chauds circulant dans la cheminée, sur celle de l'air extérieur; 2° avec la hauteur de la cheminée. Les résistances dues aux frottements, aux changements de direction diminuent le tirage de la cheminée.

Pour accroître autant que possible la température dans le tuyau de fumée, il faut éviter une ventilation exagérée. Ainsi que nous l'avons dit précédemment, on réduit la section d'entrée du foyer en baissant le registre de la cheminée.

Le tirage augmentant avec la hauteur des tuyaux de fumée, les cheminées des étages supérieurs tirent moins bien que celles des étages inférieurs, et sont plus facilement influencées par les actions atmosphériques. Assez souvent, on prolonge les conduits de fumée au-dessus des toits par un tuyau en tôle. On augmente ainsi la hauteur de la colonne chaude et, par suite, l'activité du tirage.

Si on compare deux cheminées de même section ($0,25 \times 0,25$), l'une de 25 mètres de hauteur, l'autre de 10 mètres, on trouve que, pour produire la même vitesse dans chacune d'elles, les excès de température $(T-\theta)$, $(T'-\theta)$, doivent être tels que l'on ait l'égalité suivante :

$$\frac{H(T-\theta)}{1+\frac{4KH}{D}} = \frac{H'(T'-\theta)}{1+\frac{4KH'}{D}}$$

d'où

$$\frac{T-\theta}{T'-\theta}=\frac{H'\left(1+\frac{4KH}{D}\right)}{H\left(1+\frac{4KH'}{D}\right)}$$

Si $D=0,25$ $K=0,015$ $H=25$ $H'=10$

$$\frac{T-\theta}{T'-\theta}=\frac{10(1+6)}{20(1+2,4)}=\frac{70}{85}=\frac{14}{17}.$$

L'excès de température devrait être un peu augmenté pour la cheminée la moins élevée. Aussi, en général, le fonctionnement des cheminées des étages inférieurs est-il plus stable que celui des autres.

1253. — Tuyaux de fumée communiquant entre eux. — Quand on se sert d'un même tuyau pour recevoir la fumée de plusieurs foyers, il est rare que la combustion s'opère bien dans tous, et, le plus souvent, une au moins des cheminées fume. En effet, selon le nombre des foyers allumés, la section du conduit unitaire est généralement tantôt trop considérable et tantôt trop faible.

Il peut même arriver que la fumée d'une des cheminées descende par le tuyau d'une autre et se répande dans la pièce correspondante. Cet effet se produit tout naturellement lorsque, dans cette pièce, il y a une seconde cheminée allumée débouchant dans un conduit de fumée distinct, et que l'alimentation d'air n'est pas assurée par des conduits de section suffisante.

Par suite de l'appel que détermine la seconde cheminée, la fumée est aspirée dans le conduit commun. Quelquefois même cet appel est assez énergique, pour que la fumée qui se dégage d'un tuyau au-dessus des toits soit aspirée dans un tuyau voisin par où elle redescend dans l'appartement correspondant.

On a proposé, pour s'opposer à ces courants renversés, de munir chaque tuyau d'une trappe mobile, qu'on pourrait fermer quand la cheminée ne serait pas allumée.

Cette disposition, qu'on rencontre assez fréquemment appli-

quée, présente quelques dangers dans un appartement habité. Elle peut fort bien être la cause d'empoisonnements par l'oxyde de carbone, si la trappe, généralement mal fixée, vient à se fermer sans qu'on s'en aperçoive.

1254. Action du vent. — Le vent est souvent cause que les cheminées fument. Son action est surtout sensible dans les villes, où le débouché des tuyaux de fumée est dominé par des bâtiments voisins. En effet, un courant d'air qui rencontre une surface s'infléchit suivant sa direction et lorsqu'une cheminée est adossée à un mur vertical qui la domine, tout courant d'air légèrement incliné de haut en bas qui viendra rencontrer le mur devenant vertical descendant s'opposera directement à la sortie des gaz de la cheminée. Cet effet se produit à un degré plus ou moins fort quand une cheminée est dominée par des bâtiments voisins et se manifeste dans nos appartements par des bouffées irrégulières sortant de l'âtre du foyer à chaque bourrasque extérieure. Le même fait se produit dans une cheminée placée dans une vallée très encaissée.

§ VIII

POÊLES.

1255. — Les poêles sont des appareils de chauffage avec foyer qui sont placés, comme les cheminées, dans l'enceinte à chauffer. Ils en diffèrent en ce que le foyer se trouve dans une capacité close, et ne rayonne pas directement dans l'enceinte. On est privé de la vue du feu; mais, d'un autre côté, l'air étant obligé de passer en totalité au contact du combustible, l'utilisation est bien meilleure. Le faible rendement des cheminées à foyer découvert provient surtout de ce qu'il passe au-dessus du combustible un volume d'air considérable, qui ne sert pas à la combustion, s'échauffe et emporte dans l'atmosphère, avec la fumée, une grande quantité de chaleur; les poêles ne présentent pas cet inconvénient.

Par contre, dans les locaux chauffés par ces appareils, la répartition de la température est très inégale et la ventilation qu'ils produisent est presque nulle.

On peut diviser les poêles en deux classes : les poêles sans tuyau ou poêles braseros et les poêles avec tuyau ; ces derniers sont les uns sans enveloppe ni circulation d'air, les autres avec enveloppe et circulation d'air.

POÊLES BRASEROS.

1256. — Les poêles braseros ne sont autre chose que des brasiers portatifs renfermés dans une capacité close, où l'air ne peut accéder que d'une manière restreinte ; ils n'ont pas de tuyau de dégagement pour les gaz de la combustion, ce qui permet de les transporter facilement d'un local dans un autre, suivant les besoins. C'est un avantage qui est compensé par de bien grands inconvénients, en particulier par les dangers qui résultent du dégagement, dans l'enceinte habitée, des gaz de la combustion du charbon (acide carbonique et surtout oxyde de carbone), qui peuvent déterminer les accidents les plus graves. Aussi, doit-on proscrire absolument l'emploi des poêles braseros sans tuyau pour le chauffage des lieux habités et surtout des pièces où l'on dort. Tout au plus est-il possible de les tolérer pour des locaux très largement aérés et où on ne fait que passer.

POÊLES SIMPLES SANS CIRCULATION D'AIR.

1257. — Un poêle simple se composé d'un récipient, en tôle ou en fonte, dans lequel se trouve un foyer et dont les parois rayonnent directement dans l'enceinte.

Nous allons passer en revue quelques-uns des principaux types de ces appareils.

1258. Poêle lyonnais. — Un des poêles les plus simples se compose d'une caisse en fonte de forme ovoïde, résultant de la superposition de deux pièces en forme de tronc de cône.

L'appareil (fig. 685) est monté sur trois pieds qui l'isolent du sol et divisé en deux parties par une grille sur laquelle on brûle le combustible. Une porte de chargement est ménagée au-dessus de la grille; une autre, placée au-dessous, sert pour l'entrée de l'air et l'enlèvement des cendres. Les gaz de la combustion se dégagent par un tuyau placé soit au-dessus de la caisse, soit latéralement et qui les conduit à une cheminée.

Fig. 685.

Dans ces appareils, quand le feu est actif, la fonte est portée jusqu'au rouge, et le rayonnement direct en devient souvent intolérable ; il est du reste pénible même avec un feu modéré.

En outre, l'air en passant au contact de surfaces surchauffées devient sec et désagréable à respirer. Pour remédier à cet inconvénient dans une certaine mesure, on place sur le poêle un vase plein d'eau, qui dégage de la vapeur et rétablit le degré hygrométrique.

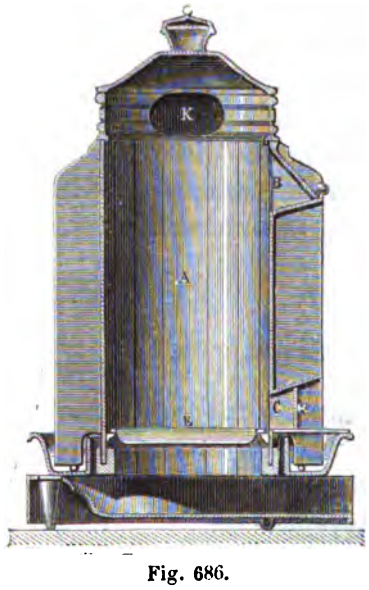


Fig. 686.

Les poêles en fonte, formés de pièces plus ou moins bien réunies ensemble, peuvent dégager, dans les locaux où ils sont placés, de l'oxyde de carbone produit dans le foyer ; comme on le sait, ce gaz est un poison des plus violents.

1259. Poêle Gurney. — Dans le poêle anglais de M. Gurney (fig. 686), le cylindre du foyer porte des nervures très saillantes, qui transmettent la chaleur en abaissant la température des parois métalliques en contact avec le feu. La surface

de transmission à l'air extérieur se trouvant très augmentée par l'addition des nervures, la puissance de chauffage de l'appareil est accrue et en même temps, l'action trop vive du rayonnement se trouve réduite ; mais il ne faut pas croire que l'accroissement de puissance soit proportionnel à l'accroissement de surface.

On a vu (**93**) que, dans ces conditions, en décuplant la surface on ne doublait pas la transmission.

Afin de maintenir un degré hygrométrique convenable dans l'enceinte chauffée, on établit à la base du poêle une cuvette en fonte pleine d'eau dans laquelle plongent les ailettes. Cette disposition a l'inconvénient de déterminer une évaporation trop rapide de l'eau du vase annulaire, de rendre l'air trop humide et de favoriser les condensations sur les parois refroidissantes de l'enceinte chauffée.

Le cylindre du foyer se fait en plusieurs morceaux assemblés avec des boulons, afin de permettre la dilatation et d'éviter des ruptures.

1260. Poêle français de MM. Geneste et Herscher. — Cet appareil se compose (fig. 687) d'une série de bagues ou cylindres en fonte à emboîtements mâle et femelle, qu'on superpose en nombre variable et dont la surface extérieure est munie de nervures verticales. Le poêle est fermé à sa partie supérieure par une calotte sphérique nervée, pourvue d'une tubulure pour le départ de fumée. Il repose à sa base sur un anneau rétréci à nervures, qui reçoit la grille, et tout l'ensemble est posé sur un socle formant cendrier. Le socle supporte un vase annulaire rempli d'eau. Les nervures ne plongent pas dans le liquide ; la vaporisation est donc moins active que dans l'appareil précédent.

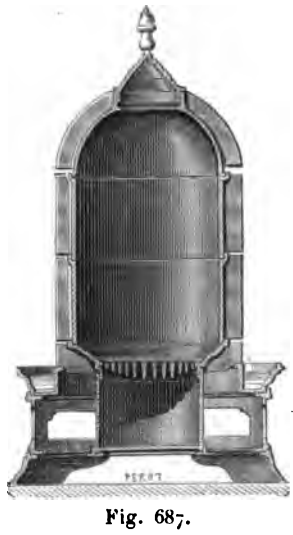


Fig. 687.

Le rétrécissement de la grille à la partie inférieure détermine

un moindre échauffement des parois du foyer et permet d'ailleurs d'adapter un revêtement intérieur en terre réfractaire. Grâce au fractionnement de l'appareil en plusieurs pièces, on peut, en cas d'usure, ne remplacer que la partie détériorée, en laissant subsister tout le reste.

1261. Poêle en faïence. — Il arrive fréquemment que les parois lisses d'un poêle métallique fortement chauffé viennent à rougir; avant même d'atteindre une température aussi élevée, leur rayonnement exerce sur les personnes placées à peu de distance une action désagréable, pénible et quelquefois dangereuse.

Les poêles en faïence ne présentent pas au même degré cet inconvénient. Leurs parois, à la fois plus épaisses et moins conductrices que celles des appareils en fonte se laissent moins que ces dernières traverser par la chaleur; en outre, leur surface, étant recouverte d'un émail brillant, doit avoir un plus faible pouvoir de radiation.

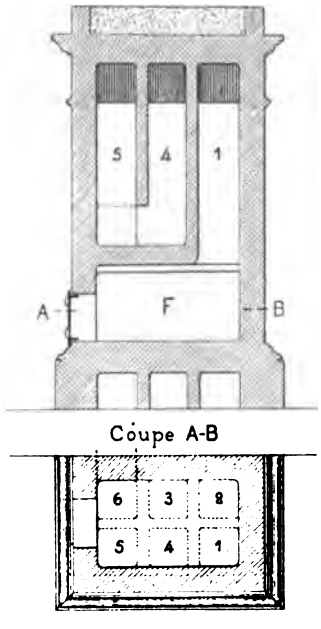


Fig. 688.

La chaleur dégagée par ces appareils est moins désagréable que celle que fournissent les poêles en fonte; mais elle est encore trop sèche et on est obligé d'humidifier l'air pour entretenir dans la salle chauffée un degré hygrométrique suffisant.

1262. Poêle russe. — Dans le nord de l'Europe, en Suède, en Russie, où la température peut s'abaisser à 40° au-dessous de zéro et au delà, on a dû disposer des appareils plus puissants que ceux qui sont en usage dans nos climats et prendre plus de précautions pour se préserver du froid.

On emploie généralement de grands poêles en briques ou en terre cuite, disposés à peu près comme l'indique la figure 691.

La fumée monte, descend et remonte sur toute la hauteur du

poêle dont la masse absorbe une partie de la chaleur dégagée pour la transmettre à l'enceinte.

Le combustible est brûlé dans le foyer F ; les gaz de la combustion passent en montant ou en descendant successivement dans les conduits verticaux 1.2.3.4.5.6 et se rendent enfin à la cheminée de fumée.

1263. Poêle Walker à alimentation continue. — Dans les divers poêles dont il vient d'être question, le foyer doit être alimenté de combustible à des intervalles assez rapprochés pour entretenir la combustion dans des conditions normales. On a cherché à établir des appareils à alimentation continue qu'on ne charge qu'à des intervalles assez éloignés, une ou deux fois en vingt-quatre heures. Le poêle Walker (fig. 689) répond à cette condition ; il se compose de deux cylindres en tôle superposés et de diamètre différent. Le cylindre inférieur M est le plus grand ; il contient le foyer et sa paroi est protégée sur une certaine hauteur contre l'action du feu par un revêtement en fonte qu'il faut remplacer de temps en temps. Le cylindre supérieur L est fermé par une cloison horizontale percée d'orifices S et V qu'on ouvre pour le nettoyage et à laquelle est suspendue une trémie en tronc de cône recouverte d'un tampon R dont les rebords plongent dans un bain de sable. La trémie descend dans l'axe du poêle jusqu'au voisinage de la grille G, Pour se servir de l'appareil, on allume du feu sur la grille et on remplit la trémie de coke léger en menus fragments de la gros-

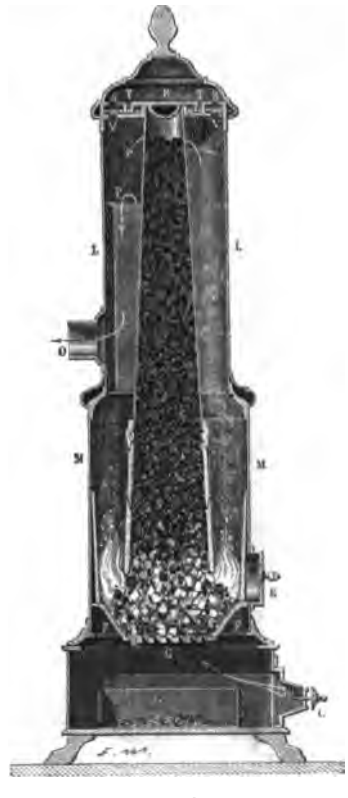


Fig. 689.

seur d'une noix. A mesure que la combustion s'effectue, le coke descend et maintient le foyer toujours dans le même état. Les produits de la combustion se répandent autour de la trémie, chauffent les parois extérieures du poêle et s'échappent par une tubulure latérale O dans un tuyau qui les conduit à la cheminée.

On règle l'arrivée d'air sous la grille et par suite l'activité de la combustion à l'aide d'un tampon C à vis qu'on approche ou qu'on éloigne d'un orifice pratiqué dans la porte du cendrier.

L'enveloppe extérieure, comme dans les poêles précédents, est chauffée par le foyer et la convection des gaz de la combustion. Elle émet sa chaleur dans la pièce par rayonnement direct et par convection.

1264. Poêle Joly. — Dans une enveloppe cylindrique en tôle B, pourvue d'un couvercle H', se trouve placé un cylindre A (fig. 690) qui reçoit la charge de combustible. Ce cylindre A, fermé par un couvercle H, est muni d'une grille C; la partie intérieure D forme le cendrier, auquel on peut accéder par une porte F correspondant à la porte G ménagée dans l'enveloppe B. L'arrivée d'air sous la grille a lieu par un conduit E, dont l'entrée peut être plus ou moins fermée au moyen d'un tampon à vis K. Le départ de fumée a lieu par un tuyau J qu'on met en communication avec une cheminée.

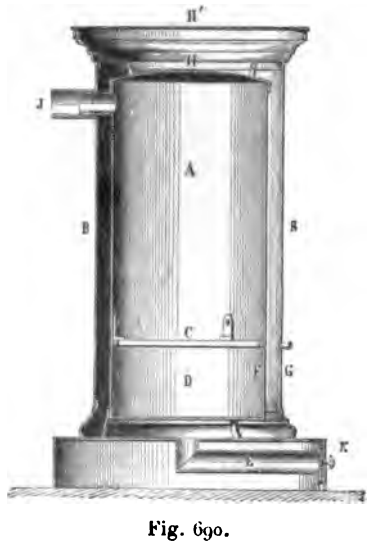


Fig. 690.

Pour mettre ce poêle en service, on enlève d'abord le cylindre A, on le remplit de petits fragments de coke et on allume à la surface. Quand le feu brûle, on replace le cylindre A dans son enveloppe B, et on ferme en replaçant les couvercles H et H'

En employant du coke de grosseur convenable, ce poêle peut

fonctionner jusqu'à ce que la charge totale de combustible soit consumée. Toutefois, on remarquera que la surface chauffante du foyer augmente à mesure que la couche en ignition s'abaisse, ce qui peut être gênant dans beaucoup de cas. On pare à cet inconvénient en fermant en partie le registre du cendrier. L'air arrive en moindre quantité sous la grille et l'activité de la combustion diminue. L'enveloppe B, dans laquelle une couche d'air reste emprisonnée, tend de son côté à atténuer l'effet résultant de la variation de la surface chauffante. Bien que l'air qui entoure le foyer A se renouvelle peu, la tôle de l'enveloppe B s'oxyde rapidement; on évite son altération en la protégeant par un revêtement céramique.

POÊLES MOBILES.

1265. — Depuis quelques années, on a construit des poêles à alimentation continue, montés sur roulettes, ce qui permet de les déplacer et de les transporter successivement dans diverses pièces. Ces poêles sont munis d'un tuyau pour le dégagement à l'extérieur des gaz de la combustion.

Dans ces appareils on charge, dans un réservoir, surmontant une grille sur laquelle s'effectue la combustion, une quantité de combustible suffisante pour entretenir le feu pendant plusieurs heures. A mesure que la combustion se produit, le combustible en réserve descend et l'alimentation s'effectue automatiquement sans qu'on ait à s'en occuper. Pour réduire la dépense au minimum, on ne laisse passer dans le poêle que la quantité d'air strictement nécessaire pour assurer la combustion. Leur faible prix d'acquisition, leur mobilité, la simplicité et l'économie incontestables de leur fonctionnement ont longtemps procuré à ces appareils un très grand succès.

Malheureusement, il faut bien le dire, leur emploi n'est pas sans danger, car ils donnent lieu à une abondante production d'oxyde de carbone. Ils ont occasionné de nombreux accidents, trop souvent mortels, et l'Académie de médecine a porté sur eux un jugement sévère.

Leurs inconvénients sont inhérents à leur mode de fonctionnement. Nous nous contenterons de décrire deux des types les plus répandus de ces appareils.

1266. Poêle Choubersky. — Il se compose d'un cylindre C en tôle (fig. 691) muni d'une grille à sa base et dans lequel on charge le combustible. Autour de ce premier cylindre C, s'en trouve un second D qui l'enveloppe; l'espace annulaire C et D communique avec le foyer par un certain nombre d'orifices percés l'un à peu près à mi-hauteur et les autres *mm* vers le sommet du cylindre C.

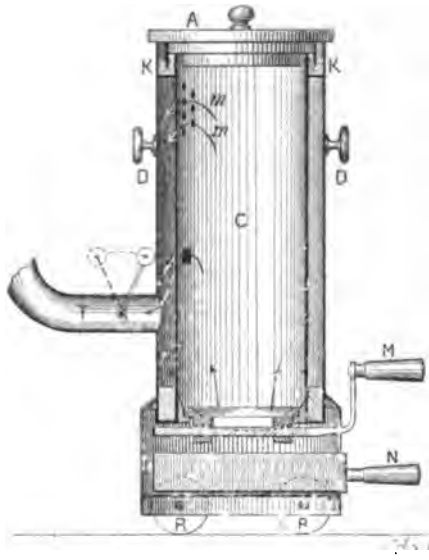


Fig. 691.

Le cylindre D porte vers sa base un bout de tuyau T recourbé de 0,50 de longueur environ et qu'on peut faire déboucher dans une cheminée ordinaire d'appartement. Les gaz de la combustion se dégagent par le tuyau de la cheminée.

L'appareil a 35 centimètres de diamètre et 80 centimètres de hauteur environ. Construit en tôle, son poids est faible et, comme il est monté sur des roulettes, on peut facilement le faire passer d'une pièce dans une autre.

Le chargement du poêle s'effectue par le haut. L'orifice supérieur est fermé par un couvercle A muni d'un rebord saillant qui pénètre dans une rigole annulaire K pleine de sable fin destiné à faire joint.

Pour charger le combustible, on enlève le couvercle; quand le chargement est effectué, il faut replacer avec soin ce couvercle en faisant pénétrer son rebord dans le sable pour empêcher tout dégagement de gaz dans la pièce.

Dans cét appareil, la réserve de combustible étant considérable, on peut se contenter de charger deux ou trois fois en vingt-quatre heures ou même moins et la combustion se maintient ainsi pendant tout un hiver sans qu'on ait jamais besoin de rallumer le feu.

Certains accessoires bien combinés facilitent le service. C'est ainsi que la grille est formée de deux pièces différentes ; l'une, composée de barreaux dont l'écartement est double de celui des barreaux ordinaires, peut se déplacer horizontalement en tournant dans une rainure ; l'autre est une espèce de trident muni d'une manette M et dont les barreaux viennent s'engager dans les intervalles de ceux de la grille à demeure, les deux pièces constituant ainsi par leur réunion une sorte de grille ordinaire.

Pour fourgonner et faire tomber les cendres, on secoue horizontalement les deux grilles au moyen de la manette du trident, et on retire complètement celui-ci pour dégager les escarbilles qui tombent dans le cendrier.

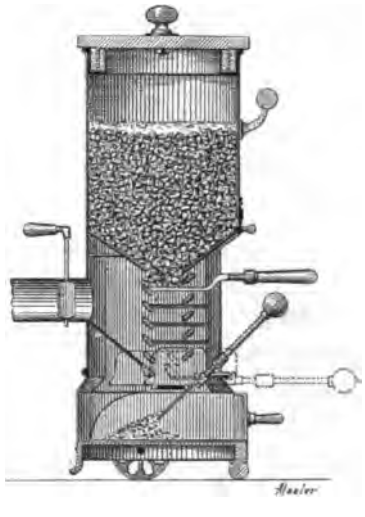


Fig. 692.

1267. Poêle mobile Cadé, à rayonnement direct. — Ce poêle est formé d'une enveloppe cylindrique en tôle (fig. 692) dont la partie supérieure sert à emmaganiser le combustible et dont la partie basse est échancrée de manière à laisser voir le foyer. Ce dernier est compris entre une plaque mobile servant de fond et deux lignes de barreaux horizontaux obliques disposés sur deux files verticales. A l'arrière de la seconde rangée est ménagée une chambre de combustion d'où part le tuyau de fumée muni d'un registre. Au-dessus du foyer se trouve un tronc de cône renversé qui forme au fond du réservoir une trémie par où s'écoule le combustible.

Le haut du réservoir est fermé par un couvercle avec joint à bain de sable.

A la base du cylindre, sous la plaque mobile du foyer, est placé le cendrier. Le tout est porté sur des roulettes et peut être facilement déplacé lorsqu'on veut faire passer le poêle allumé d'une salle dans une autre.

En marche normale, la combustion s'effectue sur toute la hauteur des grilles, on a donc une surface rayonnante directe assez importante. Lorsqu'on veut modérer le feu, on laisse accumuler les cendres dans le foyer et on peut fermer en partie le registre de la cheminée. Lorsqu'on veut ranimer la combustion, on place une plaque mobile entre les barreaux de grille à la hauteur où l'on juge que les cendres se sont accumulées et on fait basculer le fond du foyer. Les cendres étant descendues dans le cendrier, on referme le fond du foyer et on enlève la plaque mobile. Le combustible remplit l'intervalle entre les grilles et le feu reprend au contact des charbons enflammés qui occupent alors le bas du foyer.

Cette disposition permet d'éteindre le feu et de le rallumer à volonté sans qu'il soit besoin de retirer le combustible du réservoir supérieur.

POÊLES A ENVELOPPE AVEC CIRCULATION D'AIR.

1268. — Les poêles à circulation d'air ne diffèrent des poêles sans circulation qu'en ce que la cloche du foyer et la surface de chauffe sont entourées d'une enveloppe en métal ou en faïence.

Pour transformer un poêle sans circulation en un poêle à circulation, il suffit de lui adapter cette envelopped ans laquelle on ménage des ouvertures en haut et en bas. L'air entre froid par celles du bas et sort chaud par celles du haut. Les ouvertures inférieures débouchent quelquefois dans l'enceinte à desservir ; il est préférable de les mettre en communication avec l'extérieur par un conduit de prise d'air. Pendant que le poêle est en feu, il s'établit dans l'espace annulaire réservé entre le foyer et l'enveloppe une active circulation résultant de l'échauffement

de l'air au contact des parois du poêle. Cet air s'humidifie en passant à la surface d'un vase rempli d'eau et vient se répandre dans l'enceinte.

Les poêles à circulation prenant l'air du dehors sont, sous le rapport de l'aération, plus salubres que les poêles sans enveloppe. En outre, l'enveloppe empêche le rayonnement direct si gênant du métal porté au rouge.

1269. Poêle-calorifère Martin. — Afin de faciliter le service en diminuant la fréquence des chargements nécessaires pour entretenir la combustion journalière, on a fait des poêles calorifères à alimentation continue.

Le poêle-calorifère Martin est analogue au poêle Walker que nous avons décrit (**1263**). Il a simplement une enveloppe de plus.

1270. Poêle-calorifère Geneste et Herscher. — Cet appareil, connu sous le nom de *Thermo-Conservateur*, se compose (fig. 693) d'un foyer en fonte à nervures extérieures, rétréci à sa base et portant une grille de faibles dimensions. Le foyer, muni d'une porte d'accès servant pour le nettoyage, se trouve porté sur un cendrier muni d'un papillon permettant de régler le tirage. Il est surmonté d'une cloche légèrement conique, dans laquelle on verse la provision de combustible nécessaire pour une marche de plusieurs heures. Le chargement se fait par une porte placée à l'avant et s'ouvrant au sommet de la cloche.

Fig. 693.

Pour éviter le surchauffement de cette dernière, on fait circuler les gaz de la combustion à leur sortie du foyer dans un faisceau de tubes disposés concentriquement autour de l'appareil, ce qui permet de faire passer l'air à chauffer au contact de la cloche et de la refroidir.

Les tubes dont il vient d'être question aboutissent à une chambre commune, placée directement au-dessus d'eux et de laquelle part le tuyau de fumée. Un vase annulaire rempli d'eau entoure la cheminée près de sa base et sert à humidifier l'air chauffé par le poêle.

Tout cet ensemble est enfermé dans une enveloppe cylindrique dont la partie supérieure, entourant la trémie de chargement, est à double paroi, afin de diminuer le rayonnement direct du poêle sur les personnes placées dans son voisinage. La double enveloppe est souvent remplacée par une garniture en carreaux de faïence émaillés.

1271. Poêle-calorifère Musgrave. — Cet appareil (fig. 694) est en fonte, muni d'ailettes, et entouré d'une enveloppe métallique ou céramique. Le foyer est garni de briques réfractaires et la porte de chargement se trouve à la partie supérieure.

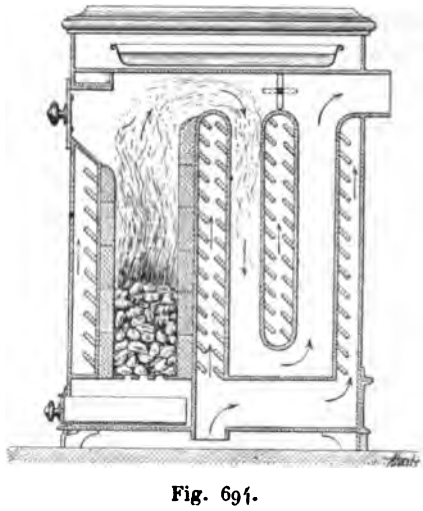


Fig. 694.

A la base est disposée la grille et, au-dessous, le cendrier. A la sortie du foyer, les produits de la combustion descendent, puis remontent, pour se rendre à la cheminée. Pour faciliter l'allumage, un registre permet de faire communiquer directement le foyer et la cheminée.

L'air extérieur arrive à la base du poêle, s'élève en s'échauffant au contact des ailettes, rencontre un vase de saturation rempli d'eau, s'humidifie et se répand dans la pièce à chauffer.

1272. Poêle-calorifère de la Cie Parisienne du gaz. — Cet appareil (fig. 695) peut servir à chauffer, soit l'enceinte dans laquelle il est placé, soit une pièce située à un étage supérieur. Il comprend un foyer cylindrique en fonte à nervures

muni d'une grille à sa base, d'un gueulard de chargement fermé par une porte, d'un départ de fumée à son sommet. Le poêle repose sur un cendrier B pourvu d'un registre à papillon permettant de régler le volume d'air qui arrive au foyer. Le tout est enveloppé d'un cylindre en tôle au bas duquel se trouve une prise d'air. Vers le haut du cylindre se trouve placé un diaphragme percé de quatre ouvertures correspondant à quatre chambres O sans fond, mais fermées à leur partie supérieure.

Latéralement en C et D sont disposés des créneaux verticaux devant lesquels peuvent se mouvoir deux registres montés sur un même axe et disposés de manière à fermer les orifices réservés en C lorsqu'on ouvre ceux qui sont pratiqués en D et vice-versa.

Si les créneaux D sont ouverts, ceux que l'on voit en C sont fermés et l'air chauffé sera émis dans l'enceinte ; au contraire, lorsque les créneaux D sont fermés, les orifices C sont ouverts et l'air chaud monte dans une enveloppe en tôle entourant le tuyau de fumée et peut alors être émis à l'étage supérieur.

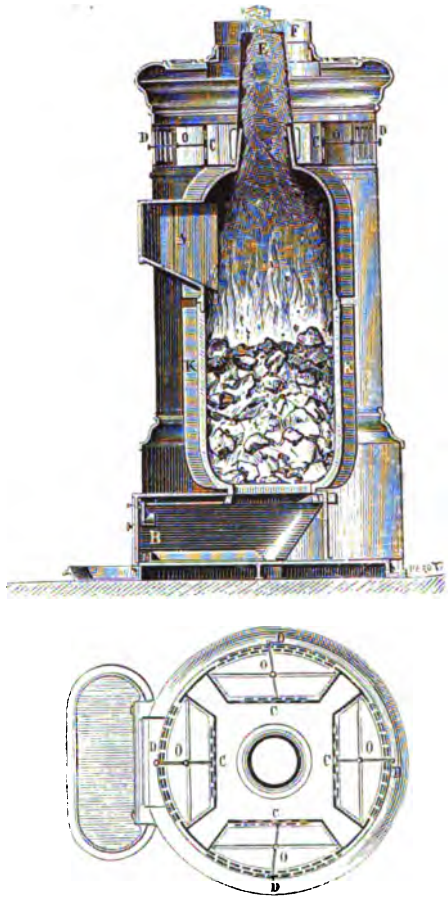


Fig. 695.

1273. Poêle-calorifère Muller. — Le poêle-calorifère Muller est tout entier en terre cuite. Il se compose (fig. 696)

d'un foyer ou creuset A en terre réfractaire dans lequel on brûle le combustible. Ce creuset, muni d'une porte de chargement, est surmonté d'une chambre de combustion A d'où part le tuyau de fumée. La chambre de combustion est fermée par une calotte sphérique en terre réfractaire que l'on enlève pour effectuer le nettoyage. L'enveloppe est en carreaux creux émaillés, maintenus par des cercles en métal. L'air froid arrive dans le socle, s'échauffe au contact du foyer A et de la chambre supérieure A' et se répand dans l'enceinte en sortant par la grille B.

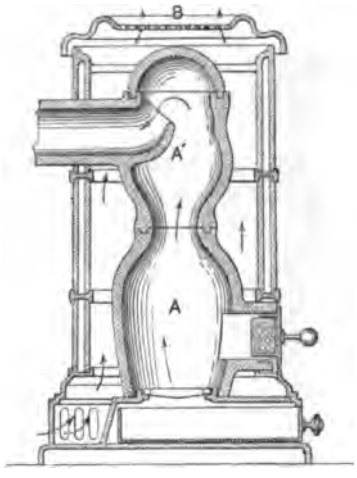


Fig. 696.

Dans la pratique, les foyers céramiques n'ont qu'une durée limitée et même ils se fendent souvent au premier feu. Dès qu'ils sont endommagés, des fuites de fumée se produisent dans la pièce pendant l'allumage; au contraire, quand le tirage est établi, des rentrées d'air ont lieu dans le foyer et il en résulte une mauvaise utilisation du combustible.

1274. Poêle-calorifère à gaz. — Dans cet appareil, une série de brûleurs sont disposés sous une sorte de cloche en tôle d'où partent un certain nombre de tubes verticaux. Les produits de la combustion du gaz traversent ces tubes pour se rendre dans un collecteur supérieur qui communique avec le tuyau de fumée. Le faisceau tubulaire est entouré d'une enveloppe en tôle dans laquelle l'air extérieur vient circuler au contact des tubes chauffés pour s'échapper ensuite par des ouvertures réservées à la partie supérieure de l'enveloppe.

On trouve des poêles à gaz de différents systèmes, mais jusqu'ici ces appareils ne se sont pas beaucoup répandus, en raison de ce qu'ils utilisent un combustible dont le prix est trop élevé.

1275. Poêle de MM. Geneste et Herscher pour Écoles. — L'un des inconvénients du chauffage par les poêles, c'est d'accentuer les courants froids descensionnels le long des parois refroidissantes, et, notamment, des grandes baies d'éclairement des salles de classes. Ces courants sont surtout gênants pour les élèves les plus rapprochés des fenêtres.

Pour supprimer cet inconvénient, MM. Geneste et Herscher ont

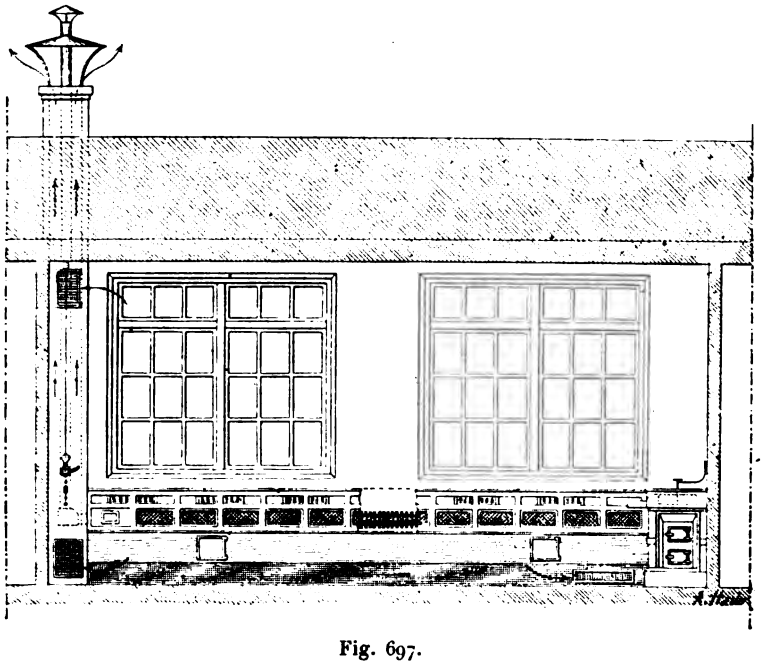


Fig. 697.

établi, dans plusieurs écoles de la Ville de Paris, des poêles à foyer céramique, dont le conduit de fumée formé d'un tube en fonte à nervures et de section méplate, longe horizontalement le mur froid sous les parties vitrées, monte ensuite verticalement à l'extrémité de la salle et vient déboucher au-dessus de la toiture. Le foyer est installé dans un angle de l'enceinte, à droite du maître; il est caché par un écran constitué par deux tôles parallèles dont l'intervalle est rempli de matière isolante. Cette disposition a pour but de supprimer le rayonnement di-

rect si gênant dans beaucoup de cas. Le tuyau de fumée horizontal est enveloppé dans un coffrage métallique pourvu à sa partie supérieure de bouches d'émission de chaleur, munies de fermetures. Le coffrage repose sur une cloison légère en briques dans laquelle sont ménagées des bouches d'introduction d'air qui sont ordinairement fermées et qu'on ouvre en même temps que les bouches d'évacuation réservées dans la partie supérieure du mur opposé, pendant que les salles ne sont pas occupées.

Au-dessous de la cloison légère, dont il vient d'être question, se trouve un conduit étanche en métal servant à l'évacuation de l'air vicié et débouchant dans la gaine qui entoure la partie verticale du tuyau de fumée.

Les bouches de prise d'air neuf sont ménagées dans l'épaisseur du mur de la construction à l'arrière des portes d'aération directe. Pendant la période de chauffage, l'air extérieur affluant par les bouches, se répand derrière la cloison en briques, monte au contact du foyer et du tuyau de fumée et sort par les bouches supérieures du coffrage.

L'air chaud ainsi émis monte devant les parties vitrées et gagne le plafond. Il tend à redescendre ensuite en couches isothermes vers la région habitée. L'air vicié, appelé près du sol, passe dans la gaine qui enveloppe le conduit de fumée dont la chaleur est utilisée pour l'appel et est évacué dans l'atmosphère.

Dans le voisinage du plafond, la gaine d'évacuation d'air vicié est pourvue d'une bouche munie d'un registre qu'on peut ouvrir momentanément en hiver dans le cas où il y aurait excès de chaleur dans la salle.

Ce mode de chauffage assure une bonne utilisation du combustible brûlé. Mais on a remarqué qu'en raison du refroidissement à peu près complet de la fumée, le tirage est peu actif et qu'il est nécessaire, pour obtenir d'excellents résultats, de brûler du combustible de bonne qualité qu'il n'est pas toujours facile de se procurer par voie d'adjudication.

Bien que présentant un très réel progrès sur le chauffage par les poêles ordinaires, puisque les courants froids descension-

nels le long des fenêtres sont supprimés, ce système a cependant encore l'inconvénient d'obliger à extraire l'air vicié près du plancher, en hiver.

L'insuffisance de tirage qui se manifeste lorsqu'on emploie des combustibles de qualité médiocre ne permettrait pas de prolonger le tuyau de fumée sur tout le pourtour de la salle et pour réaliser une solution complètement satisfaisante, il y aurait lieu d'établir plusieurs foyers dans la même salle. Une telle installation ne paraît pas admissible, attendu que l'emploi d'un foyer par salle est déjà, dans beaucoup de cas, considéré comme excessif. Dans ces conditions, le chauffage par la vapeur et l'eau chaude à faible volume permettent seuls de fournir une solution complète.

1276. Rendement des poêles. — Le général Morin a fait des expériences sur divers systèmes de poêles ; il a reconnu que leur rendement calorifique varie peu et reste compris entre 0,85 et 0,94. Le général Morin trouvait que le rendement est plus faible quand l'enceinte est ventilée, parce qu'il ne comptait pas comme chaleur utilisée celle emportée par l'air expulsé.

Dans ses expériences sur le poêle Gurney, le général Morin déterminait la chaleur dégagée en comptant que chaque kilogr. de houille produit 8 000 calories et chaque kilogr. de coke 7 300, il retranchait de cette quantité de chaleur celle qui est emportée par les gaz, d'après leur volume et leur température et il admettait que la différence est tout entière employée utilement au chauffage de la pièce, il arrivait ainsi à trouver un effet utile de 0,90 pour la houille et de 0,832 pour le coke.

Ces rendements nous paraissent beaucoup trop forts. Dans les foyers des poêles, la combustion doit être très imparfaite, surtout pour la houille ; d'après les constatations faites, il ne passe dans le foyer que 6 à 7 mètres cubes d'air par kilog de charbon brûlé ; cette quantité est insuffisante pour assurer une bonne combustion. Il y aurait donc lieu de réduire, dans une grande proportion, la chaleur dégagée et utilisée. Si on estime la perte par mauvaise combustion à 20 p. 100 et ce n'est pro-

bablement pas exagéré pour la houille, le rendement ne serait que de 70 p. 100. Ce chiffre nous paraît plus probable que celui de 0,90.

Le rendement est plus élevé pour la houille que pour le coke. Les expériences montrent qu'il passe plus d'air à travers les grilles quand on brûle du coke; il en résulte que la quantité de chaleur emportée par les produits de la combustion est plus grande et que, par suite, le rendement diminue.

1277. Dimensions des poêles. — Les poêles doivent évidemment avoir des surfaces chauffantes en rapport avec l'étendue des enceintes à chauffer et les conditions de leur refroidissement. Quand on les emploie comme moyen de chauffage, on se préoccupe en général assez peu de la ventilation.

Comme ces appareils ne fonctionnent le plus souvent que d'une manière intermittente, il faut les faire assez puissants pour pouvoir, après une interruption de chauffage, relever rapidement la température de l'enceinte où ils sont placés et, pour cela, il faut leur donner une surface de grille et une section de cheminée au moins doubles de celles qui seraient suffisantes pour un chauffage continu.

Les principaux éléments d'un poêle comme de tout autre appareil de chauffage sont la grille, la surface de chauffe et la section de la cheminée.

La base du calcul des dimensions d'un poêle est la quantité C de chaleur qui doit être dégagée dans l'enceinte dans les grands froids et que nous avons déterminée au n° **1219**.

Les poêles étant placés dans le local même à desservir, la perte B dans le transport de l'appareil à l'enceinte est nulle et on a simplement :

$$\rho p s N = C.$$

Le rendement dépend des pertes diverses que nous avons analysées au n° **367** et qui se réduisent à deux dans ce cas particulier. La perte φ par mauvaise combustion et la perte γ résultant de la chaleur emportée par les gaz de la combustion rejetés dans l'atmosphère.

La combustion est en général mauvaise dans les poêles parce que, afin d'alimenter moins souvent, on charge ordinairement le charbon sur de grandes épaisseurs, de sorte que le volume d'air qui pénètre dans l'appareil est insuffisant et qu'il se dégage beaucoup de gaz combustibles. La valeur de φ dépasse le plus souvent 0,10 et peut atteindre 0,30.

Quant à γ, il est en général compris entre 5 et 15 p. 100, en raison de ce que le volume d'air est ordinairement faible et de ce que la température des gaz évacués dépasse rarement 200°. Pour

$$A = 13^k, c = 0,24 \quad \text{et} \quad t = 200°$$

on a

$$\gamma = \frac{(A+1)c\,200}{8000} = 0,084.$$

Le rendement ρ varie ordinairement de 0,65 à 0,85.

Nous avons vu (**1222**) que, dans les conditions ordinaires de construction et avec une faible ventilation, la quantité de chaleur à fournir pouvait être approximativement donnée par la relation

$$C = 1,30B(t - \theta)$$

B étant la capacité de l'enceinte et $t - \theta$ la différence de température.

En raison de l'intermittence du chauffage et de la nécessité de rétablir rapidement la température après chaque interruption, il convient comme nous l'avons déjà indiqué, de compter que le poêle doit pouvoir produire à un moment donné une quantité de chaleur 2C, double de celle qui doit être fournie lorsque le régime est établi, de sorte qu'en prenant 25° pour écart maximum de température à maintenir, la chaleur que doit pouvoir dégager le foyer est :

$$2C = 2 \times 1,30 \times 25B = 65B.$$

Si on admet pour le rendement du poêle $\rho = 0,75$ et si on brûle

de la houille telle que $N = 8000$, on a pour le poids du combustible par heure

$$ps = \frac{65}{6000} = 0{,}011B4B$$

en nombre rond $ps = 0{,}01$ B

C'est environ 1 kilogramme de houille pour 100 mètres cubes de capacité et par heure.

Pour la quantité de combustible brûlé par m^2 de grille, on peut prendre pour les poêles $p = 50$, ce qui donne

$$s = \frac{0{,}01}{50} B = 0{,}0002B.$$

Soit 2 décimètres carrés de surface de grille par 100 mètres cubes de capacité.

1278. Surface de chauffe. — Pour éviter l'encombrement, on ne donne aux poêles qu'une surface de chauffe relativement peu développée et égale à 30 ou 40 fois la surface de la grille, de sorte que chaque mètre carré transmet au maximum de 10 500 à 9 000 calories. On trouve encore à cela l'avantage de pouvoir dans les temps doux réduire la consommation de combustible sans trop abaisser la température des gaz et gêner le tirage. Si on admet dans ces conditions une transmission moyenne de 10 000 calories par mètre carré de surface dans le poêle proprement dit, on aura pour la surface de chauffe

$$S = \frac{2C}{10000} = 0{,}0065B.$$

C'est environ $\frac{2}{3}$ de mètre carré par 100 mètres cubes de capacité.

1279. — Lorsque les appareils sont garnis de nervures ou d'ailettes, on donne à la surface de chauffe totale de 50 à 100 fois la surface de la grille. Quand on connaît la quantité ps de combustible à brûler, la section ω du tuyau de fumée peut se déterminer au moyen de l'équation générale

$$ps = 500\omega\sqrt{\frac{H}{1+R}}.$$

La hauteur H est liée à celles du bâtiment et de l'étage. La résistance R se calcule comme nous l'avons indiqué (**206**) ; elle est ordinairement assez grande parce que les tuyaux des poêles sont de faible diamètre.

La valeur de $\sqrt{\frac{H}{1+R}}$ est pour cette cause beaucoup plus petite que dans les chaudières à vapeur où nous avons vu qu'elle s'éloignait peu de l'unité.

On peut prendre pour les poêles :

$$\sqrt{\frac{H}{1+R}} = 0,50$$

ce qui donne

$$ps = 250\omega,$$

soit 250 kilog. de houille brûlés par heure, par mètre carré de section de tuyau de fumée.

En remplaçant ps par la valeur ci-dessus $ps = 0,01$ B, on trouve :

$$\omega = 0,000040B,$$

soit 40 centimètres carrés par 100 mètres cubes de capacité du bâtiment à chauffer ou environ le cinquième de la surface de la grille.

1280. — Ainsi, pour une salle d'école ayant 6 mètres de largeur, 8 mètres de longueur et 5 mètres de hauteur, ce qui donne un cube B = 240, on trouverait pour les divers éléments du poêle :

Surface de grille

$$s = 0,02\frac{B}{100} = 0,048.$$

Surface de chauffe

$$S = 0,65\frac{B}{100} = 1^{m^2},56.$$

Section de la cheminée

$$\omega = 0,004\frac{B}{100} = 0,0096.$$

$$D = 0,111.$$

Ces différentes dimensions concordent sensiblement avec celles qu'on trouve ordinairement adoptées dans les applications.

DISPOSITION GÉNÉRALE D'UN CHAUFFAGE AU MOYEN DE POÊLES.

1281. — Le chauffage d'un bâtiment au moyen de poêles est des plus simples. En général, on met dans chaque pièce un appareil dont la puissance est en rapport avec les dimensions de l'enceinte à chauffer; le tuyau de fumée monte verticalement sur la hauteur de l'étage, se recourbe près du plafond et vient aboutir dans un conduit ménagé dans l'épaisseur du mur et débouchant au-dessus des toits. Pour mieux refroidir la fumée et avoir une utilisation plus complète de la chaleur dégagée par la combustion, on place le poêle du côté opposé au mur où se trouve la cheminée et le tuyau de fumée traverse obliquement la pièce à peu de distance du plafond pour venir la rejoindre. On donne toujours à ce tuyau une légère pente afin de faciliter l'établissement du tirage. On utilise ainsi la surface de ce tuyau comme surface de chauffe et on augmente le rendement; mais l'aspect est peu satisfaisant et quand les bouts de tuyau de fumée ne sont pas convenablement emboîtés, il peut couler du bistre par les joints des tuyaux.

Le rayon d'action d'un poêle s'étend ordinairement à 5 mètres et quelquefois jusqu'à 8 et 10 mètres, mais, dans ces conditions, la bonne répartition des températures dans l'enceinte laisse beaucoup à désirer. En général, pour une pièce de plus de 10 mètres de long et de 300 mètres cubes de capacité, il convient d'installer plusieurs appareils.

Au contraire, pour deux pièces contiguës, de dimensions restreintes, on se contente quelquefois d'un seul poêle placé de part et d'autre de la cloison de séparation. Ce poêle est pourvu de deux bouches de chaleur, une dans chaque salle, correspondant chacune à une portion de la surface de chauffe proportionnelle à l'étendue de la pièce à desservir. On réduit ainsi les frais d'installation et on simplifie le service. De plus, on n'a besoin que d'un seul tuyau de cheminée.

Le chauffage d'un grand bâtiment, au moyen de poêles placés dans les différentes pièces, entraîne une multiplicité de foyers qui rend le service pénible et compliqué. Il faudrait pour monter le combustible aux divers étages, entretenir les feux, enlever les cendres, etc..., un personnel assez nombreux. Aussi, le plus

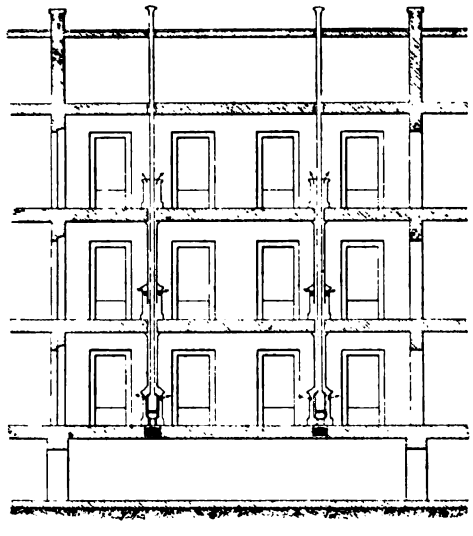


Fig. 698.

souvent ce sont les personnes mêmes occupant la pièce chauffée qui s'occupent de l'alimentation du foyer.

Afin de simplifier le service et surtout d'éviter le transport du combustible dans les étages, on a établi au rez-de-chaussée des poêles qui chauffent les étages supérieurs par un courant d'air chaud (fig. 698).

OBSERVATIONS SUR LE CHAUFFAGE PAR LES POÊLES.

1282. — Les poêles sont les appareils de chauffage les plus économiques dont on dispose aussi bien sous le rapport de la consommation de combustible que sous celui des frais d'installation ; aussi sont-ils très répandus.

Leur effet utile est en général considérable, car il n'y a de perte de chaleur que celle qui résulte de la combustion incomplète et de la température élevée des gaz qui s'échappent dans la cheminée. Le rendement peut atteindre parfois 85 p. 100 environ, ce qui est une excellente utilisation.

Les poêles sont des appareils d'une construction simple et d'un prix relativement peu élevé. Leur installation ne donne lieu qu'à très peu de frais accessoires quand, ce qui se fait généralement, on a, pendant la construction, ménagé dans les murs des conduits pour le dégagement de la fumée.

Les poêles ne produisent qu'une ventilation insignifiante, 10 à 20 mètres cubes par kilogramme de charbon brûlé, et c'est en grande partie à cela que tient l'économie que procure leur emploi au point de vue de la consommation du combustible.

Les expériences du général Morin ont montré qu'on pouvait, en brûlant 1 à 2 kilogr. de houille, chauffer en temps moyen une salle de 270 mètres cubes. C'est à peu près la capacité d'une salle d'études renfermant 40 élèves. La quantité d'air évacué directement par le poêle n'atteignant pas 40 mètres cubes, on voit que la ventilation effectuée par ce procédé serait au maximum de 1 mètre cube par élève et par heure.

Indépendamment des inconvénients qu'elle présente au point de vue de la salubrité, cette absence presque complète de ventilation a pour conséquence d'occasionner une très grande différence de température aux différents points de la pièce chauffée. Le général Morin a constaté qu'à 3 mètres au-dessus du sol, la température pouvait être de 13° à 14° plus élevée que celle qu'on observait près du sol.

Les poêles ont encore d'autres inconvénients assez graves. Le rayonnement direct de leurs parois, surtout de celles des poêles sans enveloppe fortement chauffés et souvent portés au rouge est très pénible à supporter et peut même entraîner des accidents.

Les poêles tiennent dans les pièces une place souvent gênante et leur aspect est peu satisfaisant, surtout quand ils sont surmontés de tuyaux ; cet effet déplorable est encore exagéré par le bistre noirâtre qui coule souvent le long des murs. Le

service des poêles est assez compliqué en raison de la multiplicité des foyers et du transport du combustible. Les manipulations produisent des poussières de charbon qui ternissent et altèrent rapidement les meubles et les tentures.

Il est bien difficile avec les poêles de régler la chaleur comme on le désire. On ne peut ni la faire arriver ni la modérer suivant les besoins. L'allumage du foyer prend beaucoup de temps ainsi que son entretien.

§ IX

CALORIFÈRES A AIR CHAUD.

1283. — D'une manière générale, un calorifère à air chaud se compose d'un foyer analogue à celui des poêles, surmonté d'une sorte de calotte désignée sous le nom de cloche ; du sommet de celle-ci partent une série de conduits de formes variées, que parcourent les gaz chauds de la combustion pour gagner la cheminée.

Cet ensemble est placé dans une chambre en maçonnerie présentant, à sa partie inférieure, des ouvertures par où s'introduit l'air à chauffer pris au dehors et, à sa partie supérieure, une capacité dite chambre de chaleur où se rend l'air chaud et d'où partent les conduits qui doivent le distribuer dans les divers locaux à desservir.

Les calorifères à air chaud présentent des formes très variées ; nous allons passer en revue un certain nombre des types les plus connus ; nous examinerons ensuite les dispositions qu'il convient de prendre pour faire arriver l'air froid dans la chambre du calorifère et pour conduire l'air chaud dans les pièces où on veut utiliser la chaleur.

1284. Calorifère à tuyaux verticaux. — La cloche du calorifère est en fonte et pourvue d'un gueulard encastré dans la maçonnerie et muni d'une porte (fig. 699). Elle est surmontée d'une colonne sur laquelle est emboîté un gros tuyau A desservant deux embranchements parallèles *a a* d'où partent des tuyaux

descendants *tt* qui aboutissent à deux tuyaux parallèles *bb* recouverts en projection par le tuyau B'B'', communiquant avec le tuyau B. Ce dernier porte à l'arrière une tubulure B' débouchant dans la cheminée, à l'avant se trouve une tubulure B'' fermée par un tampon mobile qu'on enlève pour le ramonage. Les extrémités des tuyaux *aa* et *bb* sont également fermées par des tampons de ramonage.

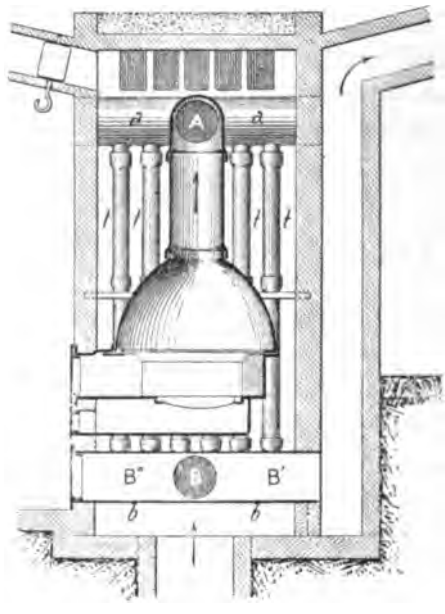


Fig. 699.

Cet appareil a l'inconvénient de présenter de nombreux joints, dont l'étanchéité laisse le plus souvent beaucoup à désirer. Il en résulte que lorsque le tirage n'est pas suffisant ou n'est pas encore établi, la fumée passe par les fissures des joints et se mélange à l'air chauffé qui se rend dans les salles à desservir. Au contraire, quand le tirage est bon, c'est l'air chauffé qui, à son tour, passe dans le conduit de fumée.

1285. Calorifère à tuyaux horizontaux. — Cet appareil est représenté figure 700.

La cloche en fonte C est surmontée d'une colonne A d'où partent deux circulations descendantes symétriques formées d'une série de tuyaux horizontaux *ttt*, réunis par des coudes en fonte portant de longues tubulures *rr* qui viennent affleurer les faces de la chambre en maçonnerie. Ces tubulures sont fermées par des tampons qu'on enlève pour le ramonage, qui se trouve ainsi rendu plus facile. Les deux circulations se réunissent à leur partie inférieure dans un tuyau unique B qui aboutit à la cheminée.

Les tuyaux horizontaux *tt* ne sont pas placés les uns au-dessous des autres; ils sont disposés en quinconce, de manière à mieux assurer leur contact avec l'air qui pénètre par l'orifice P et

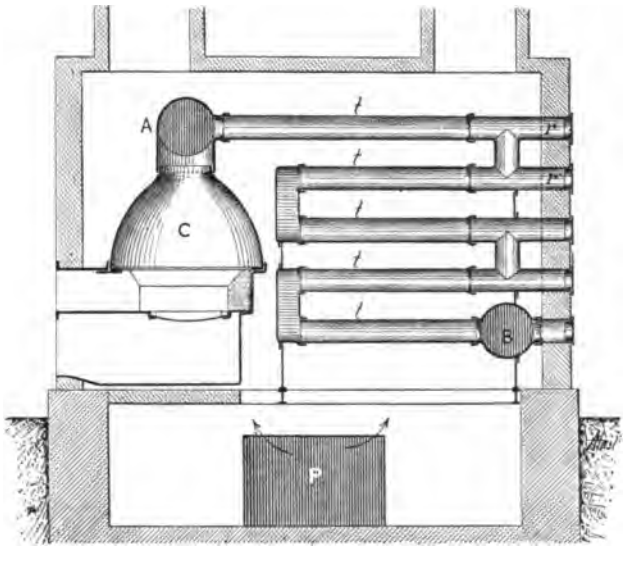


Fig. 700.

se meut au contact de toute la surface des tuyaux et de la cloche C.

Après s'être ainsi chauffé, cet air se rend dans la chambre de chaleur d'où il est distribué par des gaines convenablement disposées.

1286. Calorifère à caisses en tôle. — Cet appareil est caractérisé par une cloche en fonte surmontée d'un certain nombre de coffres plats horizontaux formant les élargissements successifs d'un tuyau vertical parcouru par la fumée. Dans chacun de ces coffres, se trouve à mi-hauteur un écran horizontal en tôle que la fumée doit contourner, ce qui l'oblige à chauffer toutes les parois des caisses.

L'air extérieur arrive par des ouvertures réservées à la partie inférieure du fourneau, lèche la cloche et les coffres métalliques chauffés, puis s'écoule par les gaines de distribution établies au sommet du calorifère. Des chicanes horizontales, dis-

posées à l'extérieur des caisses et pénétrant dans l'espace qui reste libre entre celles-ci, coupent le passage direct de l'air affluent et le forcent à circuler au contact des caisses.

Le nettoyage intérieur des coffres se fait par des tubulures branchées sur eux et débouchant à l'extérieur du fourneau.

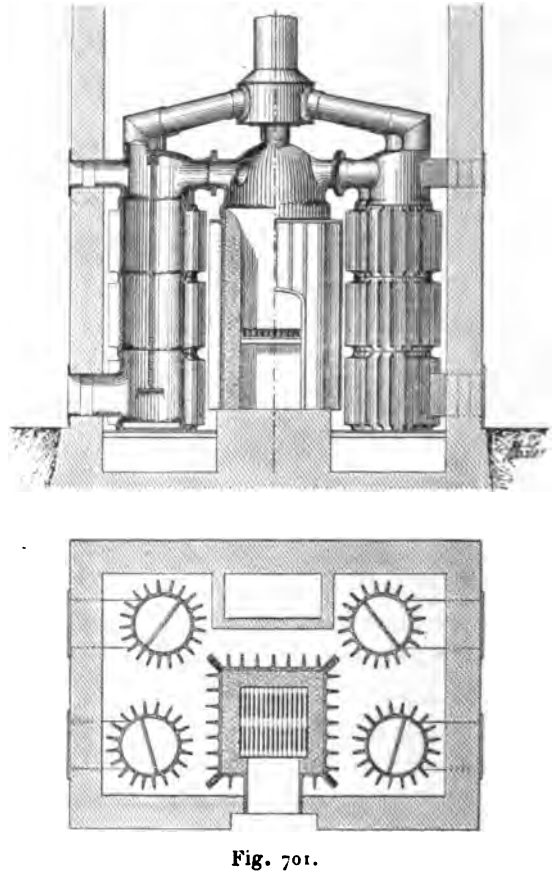


Fig. 701.

Ces ouvertures sont fermées par des tampons faciles à enlever et qu'on lute avec de l'argile délayée.

Les caisses sont quelquefois garnies de tubes intérieurs dans lesquels passe une partie de l'air à chauffer. On augmente ainsi la surface de chauffe sans augmenter le volume de l'appareil et on facilite la circulation de l'air.

Ce système est peu employé aujourd'hui. On lui préfère les appareils dans lesquels le chauffage est méthodique.

Nous allons donner quelques exemples des types de calorifères les plus répandus.

1287. Calorifère d'Hamelincourt. — Le foyer (fig. 701) est formé d'un cylindre en fonte à nervures garni de briques réfractaires dans la partie qui reçoit le combustible. Il est surmonté d'une cloche pourvue de quatre tubulures qui la mettent en communication avec autant de cylindres verticaux formés chacun de trois couronnes nervées superposées. Ces cylindres sont divisés en deux compartiments séparés par une cloison qui part du sommet et descend jusqu'à 0,20 du fond.

Les gaz chauds sortant du foyer se distribuent dans les quatre cylindres, circulent d'abord de haut en bas dans un de leurs deux compartiments, puis de bas en haut dans l'autre et se réunissent enfin dans une sorte de tambour d'où part le tuyau de fumée pour se rendre à la cheminée.

L'air à chauffer s'élève au contact du foyer et des cylindres nervés et arrive dans la chambre de chaleur ; de là il est distribué dans les enceintes à chauffer.

Les cylindres étant composés de trois couronnes superposées, il est à craindre que des fuites ne se produisent aux jonctions de leurs cloisons et qu'une partie des gaz de la combustion ne se rende directement à la cheminée sans avoir été suffisamment refroidie.

Le nettoyage intérieur de l'appareil paraît aussi présenter certaines difficultés.

1288. Calorifère Grouvelle, à circulations verticales. — Le foyer (fig. 702) est garni intérieurement d'un revêtement réfractaire établi sur un support en briques formant cendrier. Il est surmonté d'un cylindre muni de nervures, au-dessus duquel on place une pièce à tubulures, d'où partent deux séries de tuyaux nervés dans lesquels circulent les gaz chauds, d'abord en descendant, puis en montant, pour venir se réunir dans le tuyau de fumée. Les pièces de raccordement des diverses parties portent

des prolongements verticaux ou horizontaux qui débouchent en dehors des maçonneries. On les ferme par des tampons en fonte qu'on enlève lorsqu'on veut procéder au nettoyage.

L'air à chauffer entre par l'orifice A, s'échauffe au contact

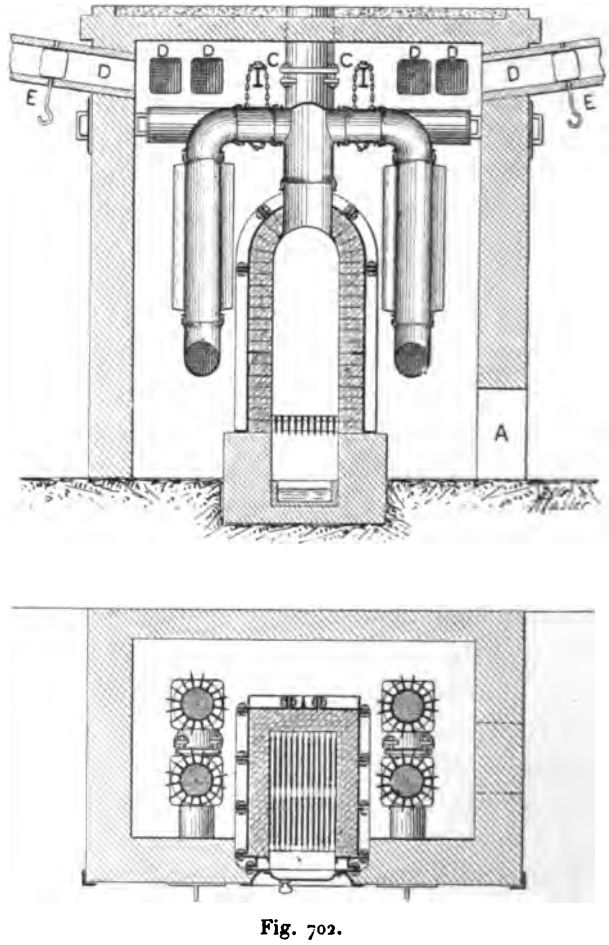


Fig. 702.

des parois du calorifère, se rend dans la chambre d'air chaud C et est ensuite distribué par les conduits de chaleur DD pourvus de registres de réglage E.

Les diverses parties des appareils Grouvelle sont assemblées à joints boulonnés avec interposition d'une garniture spéciale.

1289. Calorifère Geneste et Herscher. — Il est constitué par une cloche en fonte à nervures verticales et un hémicycle en tôle lisse qui enveloppe la cloche sur les trois quarts de son pourtour (fig. 703).

Celle-ci repose sur un foyer en fonte à revêtement intérieur réfractaire qui préserve le métal de l'action du feu et assure sa conservation. Elle se compose d'un nombre variable de cou-

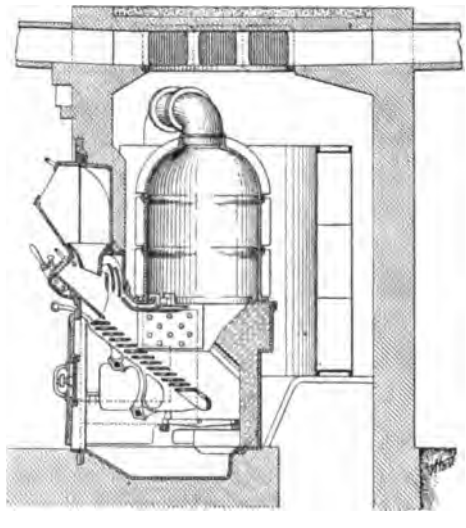


Fig. 703.

ronnes superposées à nervures verticales et se termine par une coupole également nervée. Ces différentes pièces sont assemblées à joints étanches. Nous avons déjà signalé qu'il y avait avantage, au point de vue de l'économie d'entretien, à faire la cloche en plusieurs parties.

L'hémicycle, relié au sommet de la cloche par un tuyau coudé, est formé de deux demi-cylindres concentriques en tôle assemblés. L'intervalle libre entre ces deux parois est divisé par deux chicanes horizontales en trois conduits superposés que parcourent en descendant les gaz de la combustion. En raison de ce que le tirage est renversé, on dispose une pompe d'appel pour l'allumage aussi près que possible du pied de la cheminée.

Pour permettre le nettoyage, on a ménagé, à l'avant de l'hémicycle, des tubulures qui traversent la maçonnerie et sont fermées par des tampons en fonte. Entre la cloche et l'hémicycle se trouvent deux réservoirs allongés, appelés vases de saturation, qu'on maintient pleins d'eau et qui sont destinés à donner à l'air affluent un degré hygrométrique convenable.

Tout l'appareil est renfermé dans une chambre en briques. La façade est munie d'une baie en fonte recevant les portes du foyer et du cendrier ; elle est percée de deux orifices que traversent les extrémités des vases d'humidification ; celles-ci sont recouvertes d'un couvercle mobile qu'il suffit de soulever pour voir si les vases contiennent suffisamment d'eau.

Le calorifère Geneste et Herscher peut être pourvu d'un foyer spécial à alimentation continue destiné à utiliser les combustibles menus.

Ce foyer comprend une grille inclinée et basculante, placée au-dessus et en avant d'une petite grille horizontale fixe. La grille inclinée est formée de barreaux horizontaux disposés en gradins sur des supports en fonte inclinés. L'ensemble est mobile autour d'un axe de rotation, ce qui permet d'amener la grille dans la position horizontale pour l'allumage du feu.

Le combustible emmagasiné dans une trémie placée sur l'avant de l'appareil descend automatiquement sur la grille à mesure que la combustion s'effectue.

La trémie est assez vaste pour contenir la provision nécessaire à l'alimentation du foyer pendant plusieurs heures.

A sa base, se trouvent une porte de visite ainsi que deux diaphragmes mobiles servant, l'un à régler l'épaisseur de la couche en ignition sur la grille inclinée et l'autre à fermer la base de la trémie quand on a besoin de renverser la grille pour la débarrasser complètement des mâchefers.

En contre-bas des grilles est établi le cendrier dans lequel on maintient de l'eau pendant le service. L'entrée du cendrier est fermée par une porte en fonte percée d'orifices munis de registres qui servent à régler l'admission de l'air sous la grille.

Deux conduits réservés dans l'épaisseur des parois du foyer

permettent d'amener de l'air chaud au-dessus de la grille afin d'assurer la bonne combustion des gaz du foyer.

On peut, à l'aide de ces dispositions, brûler des combustibles menus et à bas prix. L'allumage et l'état de régime peuvent être obtenus promptement. On peut aussi à volonté modifier l'allure du foyer suivant les variations de la température extérieure, laisser l'appareil en feu d'une façon continue pendant la saison rigoureuse ou l'éteindre chaque jour, dès qu'il n'est plus nécessaire de chauffer.

1290. Calorifère R. Duvoir. — La cloche A de cet appareil (fig. 704) est en fonte et pourvue de deux portes, l'une servant au

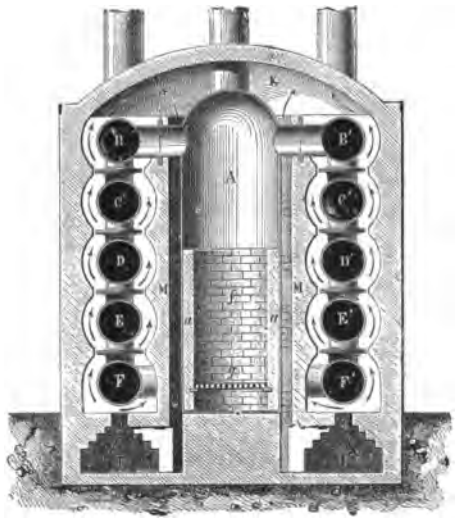


Fig. 704.

chargement du combustible et l'autre au nettoyage de la grille. La paroi intérieure de cette cloche est garnie jusqu'à une certaine hauteur d'un revêtement réfractaire *a*, *a* qui la préserve de l'action du feu. Les produits de la combustion sortant de A descendent simultanément dans deux séries de tuyaux horizontaux superposés BCDEF et B'C'D'E'F', se réunissent ensuite dans une chambre placée à l'arrière et, de là, se rendent à la cheminée.

L'air affluent arrive par deux prises d'air disposées à la base du fourneau et s'élève au contact des colonnes H et G et des tuyaux horizontaux.

Pour faciliter le nettoyage, on prolonge les tuyaux horizon-

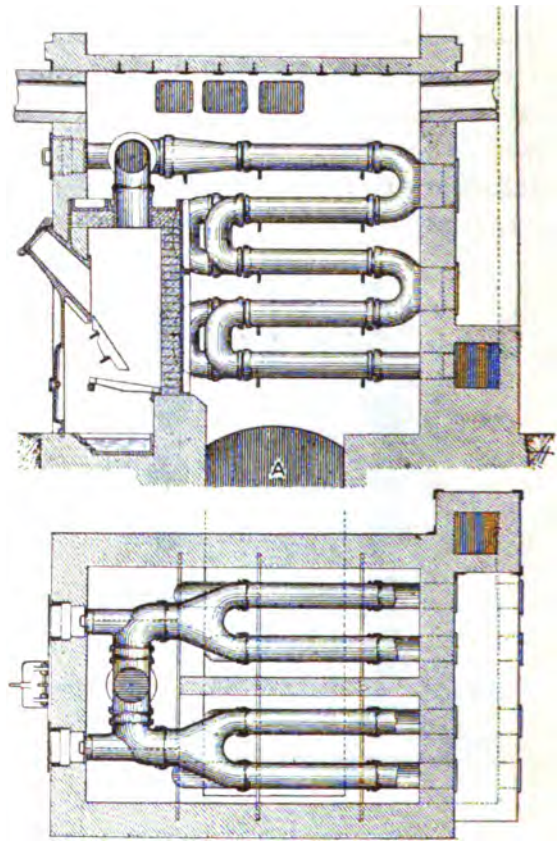


Fig. 705.

taux BB′ etc. jusqu'à l'extérieur du massif en maçonnerie et on les ferme par un tampon. Les parois en maçonnerie enveloppant ces tuyaux ne sont pas verticales, mais épousent en partie la forme des tuyaux dans le but de mieux assurer leur contact avec l'air à chauffer.

Dans la cloche G on dispose une pompe d'appel.

1291. Calorifère Grouvelle à circulations horizontales. — Dans cet appareil (fig. 705), créé par Ph. Grouvelle père, le foyer est formé de plaques verticales en fonte à rebords, boulonnées extérieurement entre elles et revêtues intérieurement d'une chemise réfractaire. Il est surmonté d'un demi-cylindre, également en fonte, relié à deux groupes de tuyaux horizontaux symétriquement disposés.

Chaque groupe comporte trois ou cinq rangs de tuyaux en fonte lisses ou garnis d'ailettes, placés les uns au-dessus des autres et communiquant entre eux par des coudes arrondis munis de tubulures de nettoyage. Les tuyaux inférieurs débouchent dans le conduit de fumée. La grille est formée de deux parties ; l'une, inclinée, comporte des barreaux en fer, minces et serrés ; la seconde, horizontale, est constituée par des barreaux ordinaires en fonte.

Les gaz de la combustion sortant du foyer montent directement jusqu'à la bifurcation, parcourent en descendant les tuyaux horizontaux de chaque circulation, puis arrivent dans la cheminée.

L'air affluent amené par le conduit A circule au contact de tuyaux de plus en plus chauds. Le chauffage est donc méthodique.

CALORIFÈRES DANS LESQUELS LES TUYAUX SONT PARCOURUS PAR L'AIR A CHAUFFER.

1292. Calorifère à tubes horizontaux ou verticaux et à foyer extérieur. — Dans les calorifères précédemment décrits, le foyer est généralement placé dans une cloche en fonte, tandis que, dans l'appareil représenté (fig. 706), le foyer est extérieur. Les gaz de la combustion se rendant à la cheminée passent autour des tubes. Ceux-ci sont horizontaux, disposés en quinconce et supportés par deux murs parallèles ; leurs extrémités traversent ces murs et débouchent dans deux chambres pourvues de cloisons horizontales. L'air extérieur arrive dans la chambre A et passe successivement dans les chambres BCD en parcourant chaque rangée horizontale de tubes.

On peut faciliter le mouvement de l'air, en donnant aux

tubes une légère inclinaison, alternativement dans un sens ou dans l'autre.

L'air chaud sortant de la dernière rangée de tubes arrive dans la chambre E et s'écoule par les conduits de chaleur. Sous l'action des dilatations et des contractions qu'ils éprouvent, les

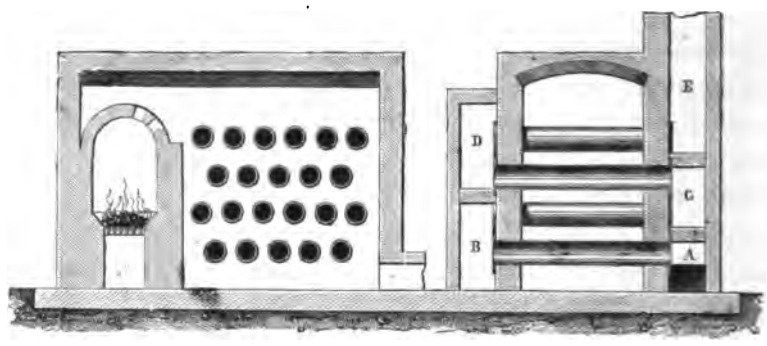


Fig. 706.

joints entre les tuyaux et la maçonnerie sont rarement hermétiques et il y a toujours lieu de craindre des mélanges accidentels d'air et de fumée.

Nous avons vu une disposition de calorifère à tubes verticaux dans le récupérateur décrit au n° **1031**. Deux plaques horizontales en fonte, percées de trous, servent à maintenir des

Fig. 707.

tuyaux verticaux en fonte dont les extrémités sont emboîtées dans les ouvertures des plaques. Le foyer est en avant ; les produits de la combustion circulent autour des tubes et s'échappent par la cheminée.

Sous la plaque horizontale inférieure se trouve une chambre où pénètre l'air venant de l'extérieur ; celui-ci monte dans les tubes où il se réchauffe, se rend dans la chambre d'air chaud d'où il est distribué par les conduits de chaleur.

Entre les bords des tuyaux en fonte et les plaques, on interpose de la terre à four malaxée, mais, comme les joints sont très nombreux, il est rare qu'il n'y ait pas mélange de l'air chaud et de la fumée.

On pourrait augmenter dans une proportion notable la transmission de chaleur, en garnissant de nervures la paroi intérieure des tuyaux ou en plaçant dans chacun d'eux un tube de plus petit diamètre (fig. 707) qui s'échaufferait par rayonnement et transmettrait sa chaleur à l'air.

1293. Calorifère Bourdon. — Cet appareil (fig. 708) présente des dispositions particulières dans le but d'éviter autant

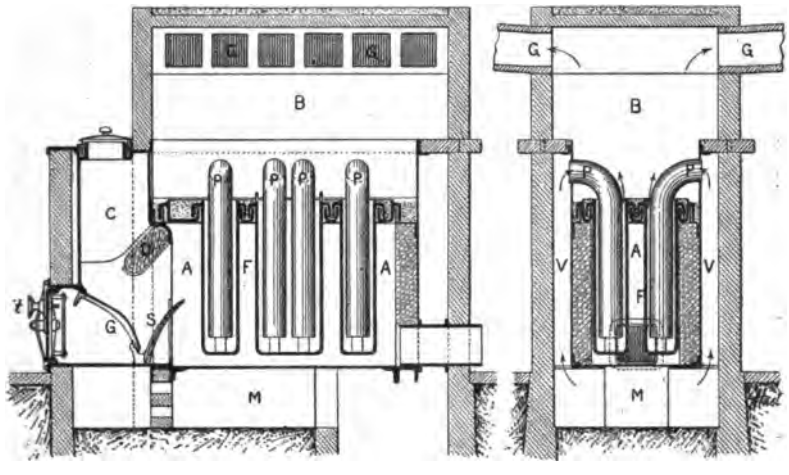


Fig. 708.

que possible le mélange des gaz de la combustion avec l'air chauffé.

Les surfaces chauffantes sont formées par des tubes métalliques rappelant ceux que l'on emploie dans les chaudières Field. Ces tubes sont suspendus au ciel de la chambre de combustion. Les bords des trous ménagés dans cette paroi pour le passage des tubes sont relevés de sorte qu'on peut disposer à sa surface une couche de sable. Les tubes portent à leur partie supérieure une sorte de gouttière renversée, qui fait joint en s'enfonçant dans le sable.

Le foyer est formé d'une caisse métallique C rectangulaire et garnie de nervures. La partie supérieure de cette caisse forme la trémie dans laquelle on emmagasine le combustible destiné à alimenter la grille pendant un certain temps. Au-dessus de la grille et à mi-hauteur de la caisse C se trouve placé un diaphragme incliné D, en terre réfractaire, qui sert à régler l'épaisseur de la couche de combustible descendant sur la grille.

Cette dernière se compose de barreaux bombés qui reposent sur un sommier S dont l'arrière, formé d'une plaque nervée en fonte, se relève parallèlement au diaphragme D.

Le cendrier est muni d'une porte qu'on tient fermée; l'air arrive sous la grille par un orifice percé dans cette porte et pourvu d'un tampon à vis *t* qu'on peut régler à volonté.

Les gaz du foyer s'échappent entre le diaphragme D et le sommier S, ils achèvent de se brûler dans la chambre de combustion A à parois en tôle protégées par un revêtement céramique et circulent autour des tubes disposés de manière à briser le courant gazeux.

L'air à chauffer arrive dans la chambre M réservée sous le fond de la caisse A et sous le cendrier. Une partie passe au contact des parois nervées du foyer et se rend dans la chambre de chaleur B. Le reste s'élève dans le vide V au contact des parois verticales de la chambre A, pénètre dans les tubes plongeurs qui débouchent vers le bas des fourreaux F et remonte ensuite entre les tubes P et les fourreaux F pour arriver enfin dans la chambre de chaleur B.

1294. Calorifères céramiques. — Dans beaucoup de calorifères métalliques, les parois, surtout celles de la cloche, sont toujours portées à une très haute température; trop souvent même, il arrive qu'elles rougissent. L'air s'abîme alors à leur contact, prend une odeur caractéristique insupportable et devient très pénible à respirer.

Pour remédier à cet inconvénient, divers constructeurs ont imaginé de construire des appareils dans lesquels l'air frais circule au contact de parois céramiques suffisamment épaisses,

léchées sur leur autre face par les gaz de la combustion.

Grâce à la faible conductibilité des produits céramiques, la température des parois en contact avec l'air reste toujours, dans les appareils bien établis, relativement peu élevée.

C'est là un avantage incontestable qui est malheureusement compensé par divers inconvénients. Ainsi, par suite des alternatives de chauffage et de refroidissement, les parois céramiques ne tardent pas à se fendiller si l'on ne prend pas de précautions spéciales et les conduits de fumée sont mis en communication avec ceux d'air chaud.

D'ailleurs, en raison de la température relativement basse des parois, il faut donner aux surfaces chauffantes un grand développement; les appareils sont donc encombrants. De plus, à cause de leur grande masse, leur fonctionnement manque de souplesse; il faut longtemps pour les mettre au régime et modifier leur allure; cela peut être avantageux dans certains cas, mais, en général, c'est un sérieux inconvénient.

Le général Morin a soumis à l'essai des calorifères céramiques dans lesquels le rapport de la surface de chauffe léchée par l'air, à la surface de grille du foyer, était de 360. Il a constaté une transmission de 400 à 735 calories par heure et par mètre carré de surface céramique et un rendement de 0,50 à 0,85.

1295. Calorifère Gaillard et Haillot. — Dans cet appareil, on a absolument proscrit la fonte et le fer pour toutes les parties qui se trouvent en contact avec l'air à chauffer. Ce calorifère (fig. 709) se compose d'un foyer réfractaire A surmonté d'une vaste chambre de combustion A′, de laquelle partent plusieurs conduits horizontaux BB′ formant des serpentins que les gaz de la combustion parcourent en descendant pour se rendre à la cheminée de fumée H.

L'air à chauffer arrive dans la chambre F et se distribue dans les canaux verticaux ménagés dans les cloisons qui séparent les divers conduits de fumée BB et entourent le foyer. Cet air s'échauffe en parcourant les conduits et se rend dans la chambre de chaleur GG d'où partent les divers conduits de distribution d'air chaud.

On peut adresser à cet appareil le même reproche qu'aux poêles en faïence. Par suite des variations de température, les parois céramiques se fendillent et la fumée peut venir se mélanger avec l'air chaud, ou bien, au contraire, celui-ci passe

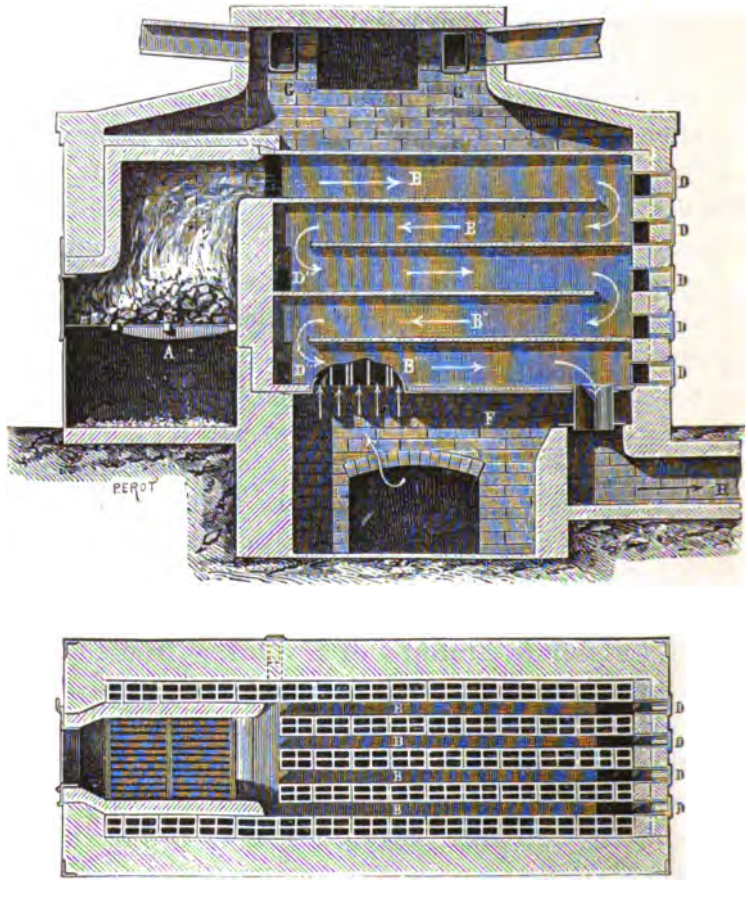


Fig. 709.

dans les fissures et se rend à la cheminée, au détriment du rendement du calorifère.

1296. Calorifère céramique Geneste et Herscher. — A côté de certains avantages, les appareils céramiques ordinaires ont, nous l'avons dit, l'inconvénient de présenter, après

un certain temps d'usage, des fissures établissant des communications entre les conduits de fumée et ceux d'air chaud.

Pour s'opposer à cet effet fâcheux, MM. Geneste et Herscher

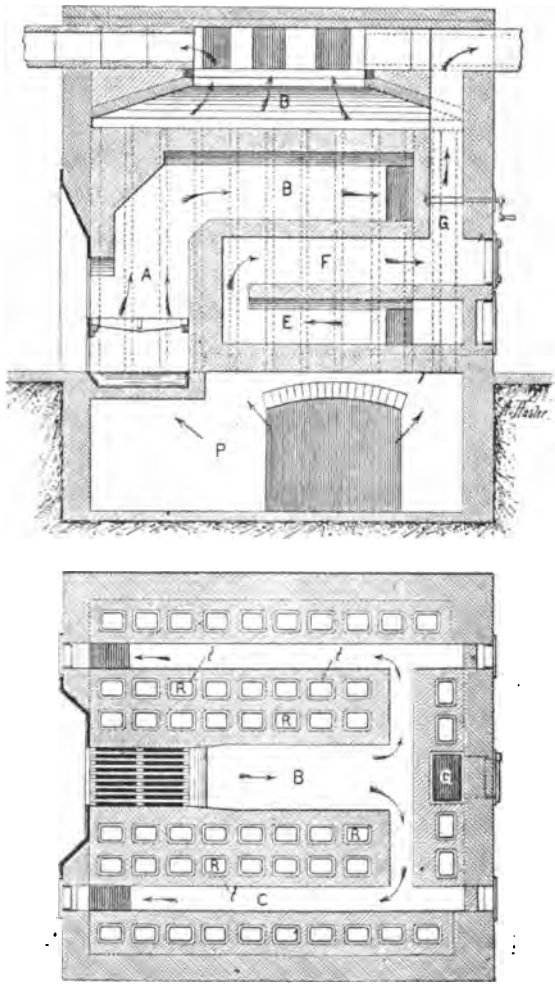


Fig. 710.

ont construit un calorifère céramique (fig. 710) dans lequel les conduits d'air chaud sont formés de tuyaux en tôle, noyés dans des cloisons en briques autour desquelles circulent les gaz chauds.

L'appareil comprend un foyer A avec chambre de combustion d'où part un carneau horizontal B qui se bifurque à l'arrière du calorifère, pour former deux carneaux latéraux CC plus étroits, au-dessous de chacun desquels sont réservés un ou trois carneaux inférieurs. Les deux conduits latéraux de la baie se réunissent et donnent naissance à un conduit central E, qui est surmonté du conduit intermédiaire F débouchant dans la cheminée.

La prise d'air débouche dans la chambre P, ménagée sous le calorifère. La chambre de chaleur S est établie à la partie supérieure de l'appareil et les deux chambres d'air chaud et d'air froid sont en communication par les canaux verticaux R.

Les gaz brûlés sortant du foyer pénètrent dans le carneau B, passent dans les deux conduits C, redescendent en parcourant successivement les carneaux inférieurs et viennent se réunir en E. Ils suivent le conduit E, passent dans F et sont enfin évacués par la cheminée G.

L'air à chauffer entre dans la chambre P, parcourt les conduits étanches R et se rend dans la chambre de chaleur S, du sommet de laquelle partent les conduits d'air chaud, desservant les divers étages.

1297. Calorifère Michel Perret. — Cet appareil comporte un foyer à dalles réfractaires que nous avons déjà décrit (**223**), et une batterie de surfaces chauffantes constituées par des tuyaux elliptiques en tôle, léchés extérieurement par les gaz du foyer et dans lesquels passe l'air à chauffer.

Il possède une grande stabilité de fonctionnement; grâce à son foyer spécial, il permet de brûler des combustibles menus de peu de valeur; aussi rend-il de grands services dans certaines industries (pour desservir des séchoirs à air chaud, par exemple).

Mais il présente des inconvénients pour le chauffage des habitations. Il faut plusieurs jours pour amener cet appareil à l'état de marche normale ou pour en faire varier le régime. Lorsque, ce qui arrive si fréquemment au commencement et à la fin de l'hiver, la température extérieure se relève ou

s'abaisse brusquement, l'appareil n'a pas la souplesse voulue pour suivre ces variations et la température dans les locaux desservis est alors soit excessive soit trop faible. Pour remédier à cet inconvénient, on maintient l'appareil à une allure normale même pendant les temps doux et, quand il y a lieu de suspendre momentanément le chauffage, on évacue l'air chaud par une gaine spéciale partant de la chambre de chaleur et débouchant directement dans l'atmosphère. Cet expédient n'est admissible que lorsqu'on peut se procurer du combustible à très bas prix.

D'après la manière dont s'effectue la combustion dans ces appareils, elle donne lieu à de très notables quantités d'oxyde de carbone. Comme on ne sait jamais si les chambres de chaleur sont bien étanches, et comme les parois des tuyaux formant surfaces de chauffe peuvent très bien être rongées par la rouille au bout d'un certain temps d'usage, on a toujours à redouter le mélange de l'oxyde de carbone avec l'air chaud.

Enfin, ces appareils sont encombrants et le service en est assez pénible. Malgré cela, comme ils permettent d'obtenir un chauffage continu et, dans bien des cas, de faire des économies notables de combustible, ils sont assez répandus.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉTABLISSEMENT DES CALORIFÈRES A AIR CHAUD.

1298. — Autant que possible, on doit établir un calorifère au centre du bâtiment à chauffer. Le calcul indique (**132**) et l'expérience a confirmé depuis longtemps qu'on ne peut conduire l'air chaud à de grandes distances. A 15 mètres du foyer les pertes sont déjà notables et, à une distance horizontale de 30 mètres, dans les conditions ordinaires d'établissement des conduits, l'air arrive presque refroidi. On ne peut aller au delà de 15 mètres qu'en prenant des précautions particulières contre le refroidissement ou en imprimant à l'air une grande vitesse au moyen d'appareils mécaniques. Quand on est obligé de transporter la chaleur à des distances plus grandes, il faut em-

ployer plusieurs appareils répartis de manière à ce que le rayon d'action de chacun d'eux ne dépasse pas 15 mètres.

Les pièces en fonte dont se compose ordinairement un calorifère s'établissent sur une fondation en maçonnerie de briques, dans laquelle on ménage les vides nécessaires pour que l'air à chauffer se répartisse aussi également que possible et vienne au contact de toutes les surfaces de chauffe.

On place la cloche du foyer et les tuyaux suivant les dispositions particulières de chaque appareil. Il faut avoir soin dans le montage de laisser toutes les dilatations libres, et de faire des joints bien étanches pour que la fumée ne pénètre pas dans la chambre d'air chaud.

Les murs de cette chambre se font en briques et devraient toujours avoir au moins $0^m,22$ d'épaisseur. On leur donne souvent $0^m,11$ seulement, par économie, mais il en résulte une perte de chaleur dont on n'apprécie pas assez l'importance.

L'emploi des briques creuses, dont la conductibilité est très faible, est à recommander pour la construction des parois des chambres à air chaud.

1299. Prises d'air froid et conduits d'air chaud. — Les prises d'air, par lesquelles l'air extérieur s'introduit pour venir se chauffer dans le calorifère, doivent être établies autant que possible en contre-bas des locaux à chauffer, dans un endroit découvert et bien exposé à l'air. Il faut éviter de les disposer dans des cours étroites, sombres et humides.

Il importe de les éloigner des cabinets d'aisance, des écuries, etc., qui laissent dégager des odeurs plus ou moins désagréables.

Le mieux, lorsqu'on le peut et qu'on n'est pas arrêté par la dépense, est de les établir au milieu d'un jardin et de les relier au calorifère par une galerie souterraine accessible en prenant les plus grandes précautions contre l'humidité. Il faut avoir soin de munir les ouvertures des prises d'air d'un grillage assez serré pour empêcher l'entrée de petits animaux tels que les chats ou les rats qui pourraient sans cela pénétrer jusque dans la chambre du calorifère.

Il est, en effet, assez souvent arrivé que des animaux, s'étant ainsi introduits dans des prises d'air, y périssaient et que, pendant leur décomposition, il se produisait des émanations putrides d'une odeur insupportable dont on ne pouvait s'expliquer la cause.

Quelquefois, on supprime la prise d'air proprement dite et on se contente de faire des ouvertures dans le bas du mur de la chambre d'air chaud, de manière à prendre l'air directement dans la cave. C'est une disposition simple et économique, mais qui n'est pas à recommander, l'air des caves généralement humide et chargé d'odeurs, se trouvant rarement dans des conditions suffisantes de salubrité. D'ailleurs dans ce cas le courant d'air, passant à côté du tas de charbon accumulé pour l'alimentation du foyer, entraîne de la poussière noire surtout au moment où l'on charge le foyer et la transporte dans les appartements, où elle ternit rapidement les murs, les tentures et les meubles. De même, lorsqu'on retire les escarbilles et les cendres qui sont tombées dans l'eau du cendrier, ou lorsqu'on jette le feu en bas de la grille, les gaz sulfureux qui se dégagent se répandent dans les salles desservies par le calorifère.

On utilise souvent comme prises d'air les soupiraux disposés pour éclairer et ventiler les caves. On construit alors en avant du mur du soupirail un coffre plat rectangulaire, de section convenable, qui se retourne sous le sol de la cave et communique par une petite galerie avec la chambre du calorifère. Afin de conserver l'accès de la lumière dans la cave, on ménage dans la paroi du coffre, en face du soupirail, un grand châssis vitré.

Il faut, autant que possible, établir deux prises d'air par calorifère, sur les faces opposées du bâtiment, pour que l'une d'elles au moins fonctionne quelle que soit la direction du vent.

Au point de réunion des deux prises, sous la chambre d'air chaud, on a soin de construire une murette qui les maintient séparées jusqu'à ce qu'elles aient pris toutes deux la direction verticale. Sans cette précaution, il pourrait arriver que, sous

l'influence d'un vent violent, le courant, pénétrant par une prise d'air, sortît par celle du côté opposé sans entrer dans la chambre du calorifère, qui ne serait plus alimenté.

1300. Conduits d'air chaud. — Du haut de la chambre du calorifère partent un certain nombre de conduits destinés à distribuer l'air chaud dans les différentes parties du bâtiment. Ces conduits doivent présenter une pente ascendante continue aussi forte que possible. Chacun d'eux débouche dans la pièce qu'il dessert, généralement un peu au-dessus du plancher. L'ouverture pratiquée à cet effet dans le mur et, le plus souvent, munie d'un registre de fermeture est désignée sous le nom de *bouche de chaleur*.

Quelquefois au lieu de mettre les bouches en plinthe, comme nous venons de le dire, on les place en parquet. Cette disposition n'est pas recommandable parce qu'une bouche de cha-

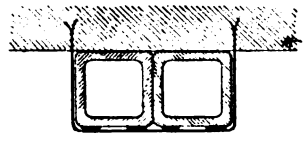


Fig. 711.

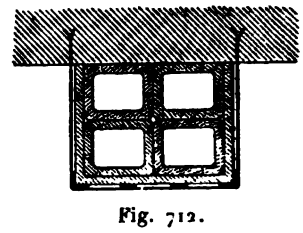


Fig. 712.

leur ainsi établie sert de réceptacle à toutes les balayures de la pièce.

n construit ordinairement les conduits d'air chaud en briques, ou en poteries de section rectangulaire; on les groupe, autant que possible, à côté les uns des autres (fig. 711) au départ du calorifère, afin de diminuer les pertes de chaleur et de simplifier la construction; ils sont supportés sur leur longueur par des fers plats maintenus de distance en distance par des étriers en fer et on recouvre le tout d'un enduit en plâtre. Pour diminuer le refroidissement, on entoure quelquefois les conduits d'une enveloppe isolante en briques creuses ou en carreaux de plâtre (fig. 712).

Quand le bâtiment n'a pas de caves, on en construit une spé-

ciale pour la chambre du calorifère et on établit les conduits d'air chaud dans le terre-plein qui reste des deux côtés. Ces conduits se composent alors d'une petite fondation en béton avec dallage et de deux pieds-droits qu'on surmonte d'une voûte. On les construit de préférence en briques creuses qui sont peu conductrices. On remplit le vide laissé par la fouille autour du conduit avec des mâchefers ou d'autres matières bien sèches et peu conductrices.

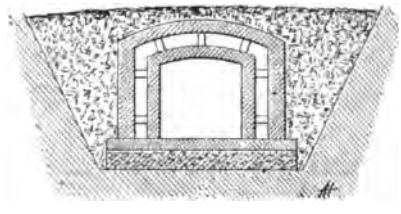


Fig. 713.

Quand on veut transporter l'air chaud assez loin, surtout dans des sols un peu humides, on fait quelquefois, pour réduire les pertes, un double conduit, comme l'indique la figure 713 en laissant de distance en distance quelques briques pour relier les deux parois parallèles.

L'isolement d'air ainsi ménagé entre les deux pieds-droits et les voûtes diminue considérablement la transmission.

Les conduits d'air chaud qui amènent la chaleur de la chambre du calorifère aux diverses pièces à chauffer doivent être établis de manière à laisser passer le volume d'air nécessaire au chauffage et à la ventilation, en le répartissant dans les diverses parties du bâtiment suivant les besoins de chacune de ces parties.

Cette répartition n'est pas toujours facile à réaliser, car, en raison des distances et des hauteurs souvent très différentes des locaux à desservir, la vitesse de l'air est bien loin d'être uniforme dans les divers conduits.

L'air arrivera d'autant plus facilement dans une pièce qu'elle sera plus près du calorifère et à un étage plus élevé. Les conduits les moins longs sont en effet ceux qui présentent le moins de résistance et le conduit vertical produit un appel d'autant plus fort qu'il a lui-même plus de hauteur.

Les pièces éloignées du calorifère et situées au rez-de-chaussée sont les plus difficiles à chauffer.

Les prises des conduits d'air chaud sur la chambre du calorifère doivent naturellement être faites à la partie supérieure, où la température est le plus élevée. Si, en raison de leur nombre, on est obligé de les placer les unes au-dessus des autres, il faut réserver les prises les plus hautes pour les conduits d'air amenant la chaleur aux points les plus éloignés et les plus bas, qui sont les plus difficiles à chauffer.

Il convient de faire sur la chambre du calorifère une prise avec conduit spécial pour chaque pièce à chauffer. C'est une condition essentielle pour assurer l'arrivée régulière de l'air chaud aux différents points à desservir. Si on ne faisait qu'un seul conduit pour des locaux différents, il se produirait presque fatalement des troubles dans la circulation et des mouvements irréguliers provenant des différences d'appel.

C'est ce qui se passait à l'hospice du Vésinet. Dans cette installation, les diverses colonnes montantes, qui devaient amener l'air chaud dans les locaux, partaient de la partie supérieure d'un conduit horizontal unique venant du calorifère.

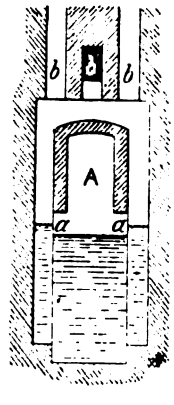


Fig. 714.

L'air chaud, tendant toujours à s'élever, s'engouffrait dans les colonnes les plus voisines du calorifère et ne parvenait pas jusqu'aux autres.

Pour améliorer cette situation, on a élargi le conduit d'air chaud sous chaque groupe de gaines ascendantes et on y a disposé une sorte de chape A (fig. 714). De cette façon, l'air chaud ne peut sortir qu'en passant sous les pieds-droits de la chape A dont la hauteur diminue à mesure que l'on s'éloigne du calorifère.

Dans ces conditions, l'air arrive jusqu'au bout de la conduite et on peut faire fonctionner l'installation.

On aurait également pu adopter la disposition d'une des figures 715 ou 716, dans lesquelles on voit que les colonnes montantes débouchent d'autant plus bas dans le carneau hori-

zontal qu'elles sont plus voisines du calorifère. Tous ces procédés ne constituent d'ailleurs que des expédients auxquels il ne faut recourir que lorsqu'on y est forcé.

Lorsqu'on est obligé de desservir plusieurs pièces par un seul conduit, il faut avoir soin de choisir celles qui sont à peu près à la même hauteur et à la même distance du calorifère.

Si on alimentait avec un même conduit différentes pièces placées les unes au-dessus des autres dans le bâtiment, il est à peu près certain que l'air chaud n'arriverait pas aux étages inférieurs et que même, le plus souvent, l'air des pièces

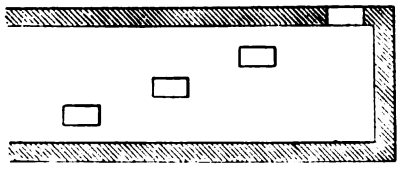


Fig. 715.

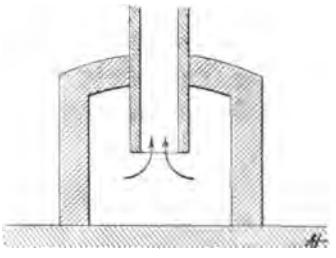


Fig. 716.

du bas serait aspiré dans le conduit d'air chaud et monterait aux étages supérieurs. Dans ces conditions, non seulement le chauffage ne se ferait pas, mais encore l'air d'une pièce passerait dans une autre, ce qui, dans certains cas, dans un hôpital de contagieux, par exemple, présenterait les inconvénients les plus graves en détruisant l'isolement.

1301. Conduits d'évacuation. — Pour assurer l'arrivée de l'air chaud, surtout aux étages inférieurs, il est indispensable de ménager des conduits d'évacuation pour l'air de la pièce chauffée.

L'air chaud qui afflue continuellement par les bouches de chaleur doit nécessairement trouver des ouvertures pour s'échapper à l'extérieur, après avoir abandonné dans l'enceinte une partie de sa chaleur. Trop souvent, on ne dispose aucun orifice spécial pour ce dégagement et l'air est obligé de sortir par les fissures des portes et des fenêtres.

Dans les pièces munies de cheminées, le tuyau de fumée de ces appareils sert naturellement de conduit d'évacuation, et

l'appel est augmenté de toute la dépression produite par la colonne d'air relativement chaud qui remplit ce tuyau. S'il y a du feu dans l'âtre de la cheminée, l'appel est plus énergique et peut, dans certains cas, se faire sentir dans la chambre d'air chaud du calorifère assez fortement pour diminuer le volume d'air qui passe dans les autres conduits de chaleur.

Lorsqu'il n'y a pas de cheminée dans une pièce, il convient d'y établir, suivant sa capacité, une ou plusieurs gaines d'évacuation; cette précaution est surtout utile pour les pièces du rez-de-chaussée dans lesquelles l'appel produit par la colonne d'air chaud est moins actif. On réserve ces gaines dans l'épaisseur des murs de la construction, ou bien, si on n'a pas pris cette précaution, on les établit en poteries adossées contre les murs.

En hiver, l'air qui remplit ces gaines est plus chaud que l'air extérieur; elles font ainsi l'office de cheminées d'appel et favorisent l'arrivée de l'air chaud. Au rez-de-chaussée surtout, une pièce éloignée du calorifère et qui n'est pas munie d'une gaine verticale d'évacuation est difficilement alimentée d'air chaud.

CALCUL DES DIMENSIONS D'UN CALORIFÈRE A AIR CHAUD.

1302. — Les éléments principaux que l'on a besoin de déterminer pour établir un calorifère à air chaud sont :

La surface de la grille du foyer,

La surface de chauffe,

La hauteur et la section de la cheminée,

Les sections des prises d'air, des conduits d'air chaud et des gaines d'évacuation.

Les dimensions de ces divers éléments doivent être calculées de telle sorte que le calorifère puisse fournir dans toutes les parties du bâtiment la quantité de chaleur nécessaire au chauffage pendant les grands froids.

Le point de départ qui sert de base à tous ces calculs, c'est la quantité de chaleur effective C à fournir dans l'enceinte, soit pour compenser la transmission à travers les parois, soit

pour chauffer l'air de ventilation. Cette quantité est donnée par la formule (8), n° **1216**.

$$C=(SQ+V\delta c)(t-\theta) \qquad (8)$$

en supposant qu'on ne tienne pas compte de la chaleur fournie par la respiration et les appareils d'éclairage.

Pour le calcul de la dimension des appareils de chauffage, on doit prendre la valeur de C qui correspond au maximum d'excès de température $t-\theta$ (soit $t-\theta=25°$ pour le climat de Paris).

Dans la formule (8), les lettres ont la signification suivante :

C Quantité maxima de chaleur à fournir dans l'enceinte,

S Surface totale des parois refroidissantes,

Q Coefficient moyen de transmission de la chaleur par mètre carré, par heure et par degré d'écart de température,

V Volume d'air de ventilation,

δ Densité de l'air,

c Capacité calorifique de l'air à pression constante;

t Température de l'enceinte;

θ Température extérieure.

La quantité de chaleur C est celle qui doit arriver réellement dans les pièces à chauffer; or, entre le calorifère et les locaux à desservir, il y a toujours, comme nous l'avons dit (**1200**), dans le transport de l'air chaud, une perte plus ou moins considérable dont nous représentons la valeur relative par β; la perte effective est donc βpsN et, par suite,

$$C=(\rho-\beta)psN.$$

ρpsN est la chaleur qui se trouve dans l'air chaud à la sortie du calorifère et βpsN la chaleur perdue dans le transport.

La valeur de β dépend de la longueur des conduits d'air chaud et de la surface exposée au refroidissement. Elle varie entre 0,05 et 0,30 et dépasse même quelquefois ce chiffre.

Surface de la grille. — Le poids de combustible ps à brûler par heure se déduit immédiatement de l'équation précédente,

$$ps=\frac{C}{(\rho-\beta)N}$$

D'où on tire la surface s de la grille, en prenant pour p la valeur du poids de combustible brûlé par m² de grille.

Dans les foyers de calorifère, la combustion n'est pas aussi active que dans ceux des chaudières à vapeur et on ne brûle guère plus de 60 kilos de houille par m²; exceptionnellement on peut arriver à 80 kilos; on aura donc ainsi s par la relation:

$$s=\frac{C}{p(\rho-\beta)N}.$$

Dans les calculs du n° (**1220**) nous avons trouvé que, pour le bâtiment considéré, il fallait, pour chauffer pendant les grands froids, fournir une quantité de chaleur

$$C=63960^{cal}.$$

Si on prend

$$\rho=0,70, \quad \beta=0,10 \quad \text{et} \quad N=8000$$

on trouve

$$ps=\frac{63960}{0,60\times 8000}=13^{k},325$$

d'où

$$s=\frac{13,32}{60}=0,22$$

Si on avait

$$\rho=0,60 \quad \text{et} \quad \beta=0,20,$$

on trouverait

$$ps=\frac{63960}{0,30\times 8000}=26^{k},65$$

d'où

$$s=\frac{26,65}{60}=0,44$$

La consommation de combustible et par suite la surface de la grille peuvent varier du simple au double suivant le rendement du calorifère et les pertes dans le transport de l'air chaud.

Surface de chauffe. — Nous avons vu au chapitre des récepteurs (n° **366**) que la surface de chauffe d'un calorifère,

comme celle de tout appareil de chauffage à foyer, pouvait se diviser en trois parties : la cloche exposée au rayonnement, la surface en contact avec les gaz enflammés et enfin celle en contact avec les gaz éteints. La chaleur se transmet à travers chacune de ces surfaces, suivant les lois qui ont été développées aux numéros **278**, **282**, **286**, en décroissant rapidement à mesure qu'on s'éloigne du foyer. Il est facile de représenter cette transmission par une courbe analogue à celle du numéro **292** (t. Ier).

La quantité moyenne de chaleur transmise par m² dépend de l'activité de la combustion et de la température des gaz refroidis abandonnés dans la cheminée.

En supposant que les gaz chauds s'échappent à la température de 150° et que l'on brûle 75 kilos de combustible par m² de grille, nous avons vu (p. 542) que cette quantité moyenne par m² était de 4 000 calories environ.

La quantité de chaleur ρpsN contenue dans l'air à sa sortie de la chambre de chaleur est plus faible que celle qui est transmise par les parois de la surface de chauffe parce qu'elle renferme en moins toute la chaleur λpsN perdue à travers les parois de la chambre.

La quantité de chaleur transmise est donc

$$M=(\rho-\lambda)psN$$

et comme

$$psN=\frac{C}{\rho-\beta}$$

elle prend la forme

$$M=\frac{\rho-\lambda}{\rho-\beta}C.$$

En désignant par m la quantité de chaleur transmise par mètre carré moyen de surface de chauffe telle que $M=mS$, S étant la surface totale de transmission, on aura :

$$S=\frac{\rho-\lambda}{\rho-\beta}\frac{C}{m}.$$

En appliquant cette formule au bâtiment pour lequel $C=63960$ au maximum, on trouve, pour :

$m=4000$, $\rho=0,60$, $\lambda=0,10$, $\beta=0,10$, $S=1,40$, $\frac{C}{4000}=22^{mq},39$

pour

$m=4000$, $\rho=0,50$, $\lambda=0,15$, $\beta=0,20$, $S=2,16$, $\frac{C}{4000}=34^{mq},54$

Cheminée. — La température dans les cheminées de calorifères à air chaud est généralement supérieure à 150°, et on peut leur appliquer la relation 3 du n° 446

$$ps=500\,\Omega\sqrt{\frac{H}{1+R}}.$$

On peut, dans chaque cas particulier, calculer la valeur de R par les formules que nous avons établies au chapitre III.

En général, dans les calorifères à air chaud, la circulation des gaz est assez développée, les tuyaux sont étroits et les coudes nombreux, de sorte que la résistance au mouvement est assez grande et que le coefficient R est souvent supérieur à 20; d'un autre côté, la hauteur de la cheminée est imposée par celle des bâtiments qu'elle surmonte de quelques mètres seulement; elle est quelquefois réduite à 10 mètres et dépasse rarement 20 mètres; il résulte de ces nombres que la valeur du terme $\sqrt{\frac{H}{1+R}}$ peut varier entre 0,50 et 1. En prenant la moyenne

$$\sqrt{\frac{H}{1+R}}=0,75,$$

on trouve

$$ps=375\Omega$$

ce qui revient à dire qu'on peut brûler dans ces conditions 375 kilos de houille par m² de section de cheminée. Cette section Ω se calculera donc simplement dans les cas ordinaires en divisant par 375 le poids ps de combustible à brûler par heure

$$\Omega=\frac{ps}{375}.$$

En appliquant cette formule à un calorifère destiné à chauffer le bâtiment (**1220**) pour lequel nous avons calculé les valeurs de ps, on a pour :

$$ps = 13{,}32 \qquad \Omega = \frac{13{,}32}{375} = 0{,}0355$$

$$ps = 26{,}65 \qquad \Omega = \frac{26{,}65}{375} = 0{,}071$$

Dans chaque cas particulier, il faudra examiner si on a bien à peu près $\sqrt{\frac{H}{1+R}} = 0{,}75$; lorsqu'on s'écartera trop de cette condition, il faudra calculer spécialement, d'après les circonstances, la valeur de R et en déduire celle de $\sqrt{\frac{H}{1+R}}$ qu'on portera dans l'équation (3) pour avoir la section Ω.

1303. *Section des prises d'air froid et des conduits d'air chaud.* — La section de ces conduits dépend du volume d'air qui doit y passer et de la vitesse de passage

$$V = 3600\omega v,$$

V étant le volume d'air qui passe par heure dans la section ω avec la vitesse v par 1″

La surface des conduits d'air chaud placés dans les caves est exposée aux refroidissements, et il en résulte une perte de chaleur souvent très notable.

Pour réduire la section et par conséquent diminuer les pertes par le refroidissement, les frais de construction, l'espace occupé, il importe de faire circuler l'air avec une vitesse aussi grande que possible; mais, sauf le cas où on emploie des appareils mécaniques, cette vitesse est nécessairement très limitée, parce qu'elle est produite uniquement par le tirage d'un certain nombre de colonnes verticales d'air chaud, placées les unes à la suite des autres, d'une hauteur assez faible et dont la température est peu élevée. Il s'agit de déterminer la section de ces conduits de manière à satisfaire aux conditions de chauffage et de ventilation.

Le volume V est ordinairement connu d'après les conditions qu'on se pose pour la ventilation. On le détermine quelquefois aussi par la condition que la température t de l'air, à son arrivée dans la pièce à chauffer, ne soit pas trop élevée.

θ étant la température extérieure, δ la densité de l'air et c sa chaleur spécifique, on a :

$$V\delta c(t-\theta)=C.$$

C est la quantité de chaleur à fournir pour le chauffage.

La vitesse de l'air chaud est produite par l'appel des gaines verticales qui conduisent cet air de la chambre du calorifère aux pièces chauffées et de celles-ci à l'extérieur ; le tout forme un ensemble de cheminées de hauteurs et de températures différentes, agissant solidairement.

Cette vitesse se détermine comme nous l'avons déjà vu à propos des cheminées (**426**).

Les prises d'air sont en général réunies. Pour avoir leur section, il suffit pratiquement de faire la somme des sections des conduits d'évacuation qu'elles doivent desservir.

Si on fait deux prises d'air sur les deux faces opposées du bâtiment, comme il peut arriver qu'avec certains vents l'une d'elles ne fonctionne pas, il est prudent de donner à chacune la section totale nécessaire.

En prenant pour base un renouvellement de n fois le volume B de l'enceinte par heure, on a :

$$V=3600\omega v=nB$$

on trouve

$$\omega=\frac{nB}{3600v}.$$

En général, les vitesses de l'air dans les divers conduits en supposant des étages de $3^m,50$ à 4 mètres sont les suivantes :

Rez-de-chaussée	$1^m,50$
1er étage	1 ,75
2e —	1 ,85
3e —	2 ,00

Si on se donne $n=2$, on trouve que les sections des gaines d'arrivée d'air chaud varient de 3 décimètres carrés à $3^{dq},6$ par 100 mètres cubes de capacité à chauffer. En pratique, pour la facilité de la construction, on peut prendre tous les conduits égaux et leur donner $0,20 \times 0,20$, soit 4 décimètres carrés par 100 mètres cubes de capacité, afin de se réserver une certaine marge.

Dans certaines installations, on ne ménage aucune cheminée pour l'évacuation de l'air émis par les bouches du calorifère. Cet air est obligé de sortir par les fissures des portes et des fenêtres, ce qui force à maintenir dans la pièce chauffée un excès de pression sur l'atmosphère.

Le fonctionnement des appareils s'en ressent toujours beaucoup.

§ X

CHAUFFAGE PAR L'EAU CHAUDE.

1304. — Dans ce système, la chaleur nécessaire pour effectuer le chauffage est émise par des appareils dans lesquels circule un courant d'eau chaude.

Une installation de ce genre comporte essentiellement :

1° Une *chaudière* dans laquelle on chauffe l'eau ;

2° Des *surfaces chauffantes*, de formes variables suivant les cas, dans lesquelles l'eau circule et émet de la chaleur en se refroidissant partiellement ;

3° Des *tuyaux de distribution* dans lesquels l'eau chaude se rend de la chaudière aux surfaces chauffantes et d'autres par où l'eau refroidie revient dans la chaudière ; dans certains cas, ces tuyaux de distribution constituent en même temps tout ou partie des surfaces chauffantes.

4° Des *appareils accessoires*, parmi lesquels il faut citer le *vase d'expansion*, c'est-à-dire une sorte de bâche, placée au point le plus haut et où vient se loger le produit de la dilatation, sous l'influence de l'élévation de température, de l'eau contenue dans tout le système.

DIVERS SYSTÈMES DE CHAUFFAGE PAR L'EAU CHAUDE.

1305. — Les divers systèmes de chauffage par l'eau chaude peuvent être groupés en deux classes bien distinctes, selon que les appareils communiquent librement avec l'atmosphère, ou bien qu'au contraire ils sont hermétiquement fermés.

Dans le premier cas, la pression dans les appareils est nulle au point le plus haut des canalisations où se trouve placé un vase d'expansion ouvert; aussi dit-on alors que l'on a affaire à un *chauffage sans pression*. En réalité, en un point quelconque des canalisations, la pression par unité de surface est égale au poids d'une colonne d'eau ayant pour base cette surface et pour hauteur la distance verticale du point considéré au niveau de l'eau dans le vase d'expansion.

Dans le deuxième cas, celui où le vase d'expansion est fermé, on dit que le chauffage est à *haute pression* ou à *moyenne pression*, selon les conditions de fonctionnement.

Lorsque le vase d'expansion est ouvert, la température de l'eau dans ce récipient est limitée à 100° (point d'ébullition de l'eau sous la pression atmosphérique); comme, d'autre part, il ne faut guère abaisser au-dessous de 70 à 60° la température des surfaces chauffantes, il en résulte que l'eau ne peut abandonner que peu de chaleur, 40 calories au plus par litre et qu'il faut, par suite, faire circuler une grande masse de liquide dans les appareils.

D'ailleurs, les colonnes ascendantes et celles de retour étant à des températures assez voisines, la puissance motrice résultant de leur différence de densité est faible et, comme on doit faire circuler un grand volume, on est conduit à donner une grande section aux tuyaux de distribution. La température moyenne des surfaces chauffantes n'étant que de 80° environ, il faut leur donner une importance considérable, ce qui, avec le genre d'appareils autrefois usités, entraînait à employer des récipients de grande capacité; pour toutes ces causes, l'ensemble du système contenait souvent un énorme volume d'eau; d'où le nom de chauffage à grand volume.

Dans le système à vase d'expansion fermé, il est possible de porter au-dessus de 100° la température de l'eau, dont un litre pourra alors abandonner 100 calories et même davantage. La température de l'eau au départ de la chaudière peut être très notablement plus élevée que dans les colonnes de retour et comme, de plus, même en marche normale, il peut se former dans les colonnes montantes des bulles de vapeur qui diminuent encore la densité de l'eau la plus chaude, la circulation est relativement très active. Aussi dans ce système, les tuyaux de distribution n'ont besoin d'avoir qu'une très petite section.

D'un autre côté, la température moyenne des surfaces chauffantes étant assez élevée, leurs dimensions peuvent être assez restreintes; pour cet ensemble de raisons, la capacité totale des appareils et tuyaux de distribution est comparativement faible; d'où le nom de *système à faible volume d'eau.* Il est important de remarquer qu'en raison de la pression à laquelle ces appareils sont soumis, leur emploi serait dangereux s'ils comportaient des tuyaux de forte section et s'ils contenaient beaucoup d'eau.

CHAUFFAGE A EAU SANS PRESSION A GRAND VOLUME.

1306. La circulation de l'eau s'établit dans l'ensemble des tuyaux et des appareils en raison de la différence de température et, par suite, de densité qui existe entre les deux colonnes verticales, l'une ascendante, l'autre descendante.

Considérons l'appareil simple représenté (fig. 611). Nous avons vu (**1061**) que la vitesse de circulation est donnée par la formule :

$$V=\sqrt{\frac{2gE}{1+R}}=\sqrt{\frac{2gH}{1+R}\left(1-\frac{d_1}{d}\right)}.$$

En désignant par :

E la hauteur d'une colonne d'eau de densité d qui produirait le mouvement;

R la résistance due aux frottements, aux changements de direction ou de section;

H la hauteur commune des deux colonnes d'eau refroidie à t° et d'eau chaude à t_1°;

d_1 la densité de l'eau à t_1°;

d la densité de l'eau à t°.

Comme, entre 0° et 80°, la densité de l'eau reste voisine de l'unité (elle varie à peine de 3 centièmes), on peut approximativement prendre $d=1$ et on a plus simplement :

$$E=H(d-d_1)$$

et

$$V=\sqrt{\frac{2gH}{1+R}(d-d_1)}.$$

Ce sont les formules que nous emploierons.

Nous n'avons pas, ici, fait intervenir directement les températures parce que le coefficient de dilatation de l'eau n'est pas constant et qu'il n'existe pas, pour ce fluide, de relation simple entre les densités et les températures.

Pour obtenir la différence $d-d_1$ avec une exactitude suffisante, le mieux est de recourir aux tables de Despretz (**1061**).

On voit, d'après ces tables, que le coefficient de dilatation de l'eau qui, de 10° à 20°, est en moyenne de 0,000152, s'élève à 0,000749 de 90° à 100°. Il est donc bien loin d'être aussi constant que celui des gaz. Dans les chauffages à eau chaude où la température varie ordinairement de 60° à 100°, on peut prendre comme coefficient moyen 0,00065, et, dans ces limites, on a, approximativement :

$$d-d_1=0{,}00065(t_1-t)$$

d et d_1 étant les densités correspondant aux températures t et t_1.

Nous avons admis, dans ce qui précède, que les températures et par conséquent les densités étaient constantes sur toute la hauteur des colonnes verticales. En réalité, il n'en est jamais tout à fait ainsi. Il convient donc, dans le calcul, de prendre la moyenne des températures extrêmes.

Si, par exemple, au sommet C de la colonne CD la température et la densité sont t_1 et d_1 et si à la base, en D, elles sont devenues t_2 et d_2, on prendra les moyennes

$$t=\frac{t_1+t_2}{2} \quad \text{et} \quad d=\frac{d_1+d_2}{2}.$$

1307. La formule précédente (**1306**) montre que la vitesse de circulation est d'autant plus grande que la différence de densité des deux colonnes est plus forte. Pour faciliter le mouvement, il est donc préférable de choisir la disposition qui, toutes choses égales d'ailleurs, donnera le plus grand refroidissement pour la colonne descendante de retour.

Comparons sous ce rapport les dispositions respectives des figures 717 et 718.

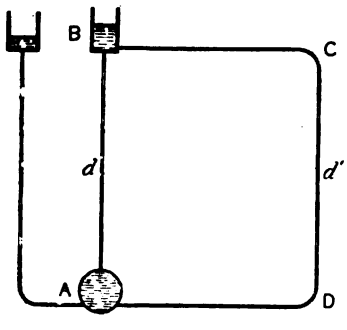


Fig. 717.

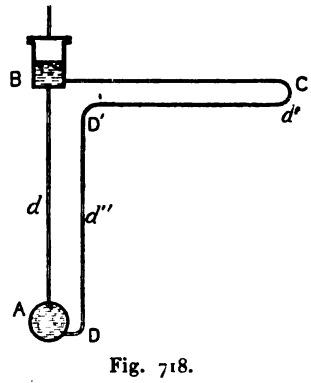


Fig. 718.

Dans la première, l'eau s'élève en AB, parcourt le tuyau horizontal BC, redescend ensuite en CD et revient à la chaudière par le tuyau horizontal DA.

Si nous supposons, afin de rendre la comparaison plus simple, que le refroidissement s'effectue seulement dans les circulations horizontales BC et DA, les densités d et d' seront constantes respectivement sur les hauteurs AB et CD (d' étant plus grand que d par suite du refroidissement en BC) et la pression motrice sera

$$E = H(d' - d).$$

Dans la deuxième disposition, les densités sont encore d et d' en B et en C; mais, par suite du refroidissement dans la conduite CD', la densité d'' en D' est supérieure à d' et, puisqu'on admet qu'elle reste constante sur la hauteur D'A, la pression motrice sera :

$$E' = H(d'' - d).$$

Si l'installation est disposée de telle façon que le refroidissement soit le même de C en D′ que de B en C, on a sensiblement

$$d' = \frac{d + d''}{2} \qquad \text{d'où} \qquad d' - d = \frac{d'' - d}{2}$$

et, par suite, dans le premier cas, la pression E a pour valeur

$$E = H\left(\frac{d' - d}{2}\right)$$

c'est-à-dire qu'elle n'est que la moitié de celle E′ qu'on obtient avec la seconde disposition.

Cet exemple suffit pour faire voir qu'une modification dans la canalisation qui, au premier abord, paraît sans importance, peut exercer une influence sensible sur la vitesse de circulation.

1308. On est quelquefois obligé, pour passer sous une porte, ou pour tout autre motif, d'infléchir la conduite suivant le contour *abcf* (fig. 719). En appelant toujours d et d' les densités dans les colonnes AB et CD de hauteur H et d_1 et d_2 les

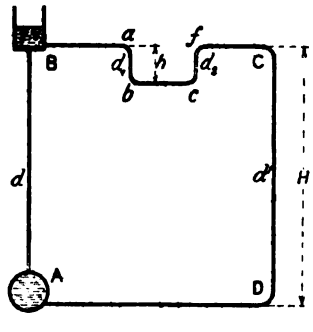


Fig. 719.

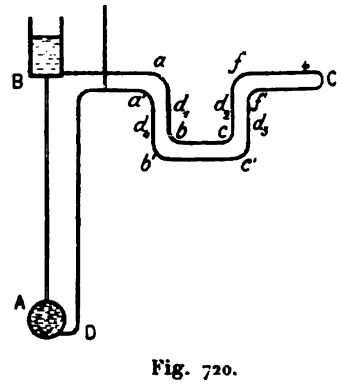


Fig. 720.

densités dans les colonnes *ab* et *cd* de hauteur h, on trouve facilement que la hauteur motrice est

$$E = H(d' - d) - h(d_2 - d_1).$$

La déviation que l'on imprime à la conduite diminue la charge motrice de la quantité $h\ (d_2 - d_1)$. La réduction sera d'autant plus grande que h sera plus comparable à H, et d_2 plus

différent de d_1, c'est-à-dire que la hauteur h et la longueur bc seront plus grandes.

Comme $d_2 - d_1$ est forcément plus petit que $d - d'$, la valeur de E sera positive tant que h sera plus petit que H. S'il était plus grand, la valeur de E pourrait être négative et la circulation ne pas se produire régulièrement.

Il faut éviter autant que possible ces déviations, qui nuisent toujours à la circulation.

Quand l'abaissement du tuyau se fait à l'aller et au retour (fig. 720), on trouve pour la pression motrice

$$E = H(d' - d) - h(d_2 + d_4 - d_1 - d_3)$$

et, comme les deux inflexions sont sensiblement égales, on doit avoir à peu près

$$d_4 - d_3 = d_2 - d_1 \qquad \text{et} \qquad E = H(d' - d) - 2h(d_2 - d_1).$$

La réduction de pression motrice est deux fois plus grande qu'avec une seule déviation.

Dans tous les cas où la canalisation forme une inflexion pouvant donner lieu à une poche d'air, susceptible de couper la circulation de l'eau, on établit (fig. 720), un robinet purgeur d'air C qu'on ouvre de temps en temps, ou, mieux, un tube débouchant à l'air libre, à un niveau supérieur à celui du vase d'expansion (fig. 720) a'.

1309. Chaudières à eau chaude. — Les chaudières employées dans les chauffages par circulation d'eau chaude doivent être établies suivant les principes généraux qui ont été développés dans les chapitres IV et V du tome Ier. Les petites chaudières à eau (**1054** à **1058**) et les divers systèmes de générateurs de vapeur peuvent être utilisés dans les installations de chauffage par circulation d'eau. Cependant, quand on emploie des chaudières à vapeur, on fait subir une modification aux carneaux de fumée qu'on fait monter jusqu'au sommet de la chaudière, ainsi que nous l'avons dit (**1051**).

Cette disposition permet d'augmenter la surface de chauffe et ne présente aucun inconvénient au point de vue de la bonne

conservation des tôles de la chaudière, puisque, dans le cas qui nous occupe, l'appareil n'a pas de chambre de vapeur.

La figure 721 représente une chaudière dont le fourneau a été modifié conformément à ces indications.

En général, on emploie le moins possible les chaudières de grande capacité, pour éviter, dans une certaine mesure, la lenteur de mise en train, la difficulté de faire varier le chauffage suivant les exigences de la température extérieure, les pertes de chaleur à l'arrêt du service, etc...

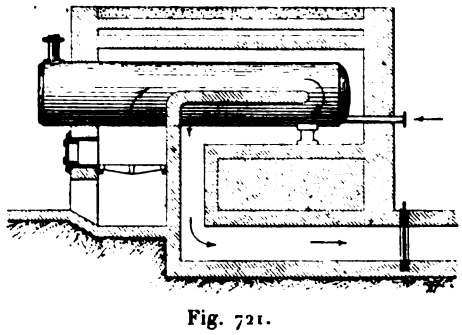


Fig. 721.

Ordinairement, les chaudières qu'on emploie pour le chauffage par circulation d'eau chaude n'ont qu'une surface de chauffe peu importante, et comme elles doivent être peu encombrantes, d'un entretien facile et peu dispendieux, leurs dispositions sont ordinairement plus simples que celles adoptées pour les chaudières à vapeur.

1310. Chaudière tubulaire horizontale. — Cette chau-

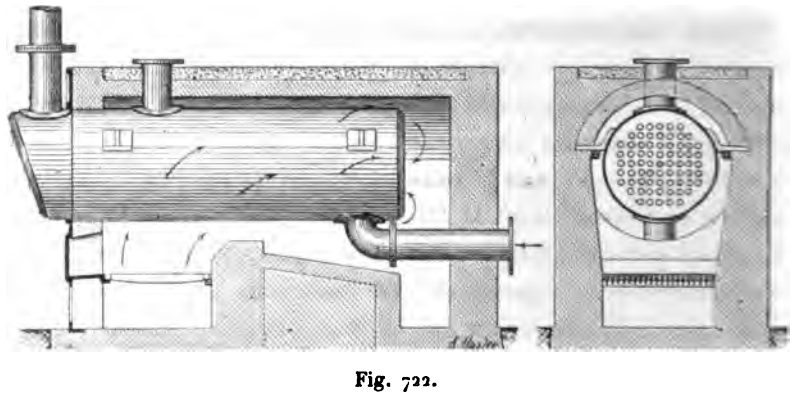


Fig. 722.

dière (fig. 722) se compose d'un cylindre en tôle, dont les fonds

servent de plaques tubulaires et reçoivent un faisceau de tubes d'assez faible diamètre, baignés dans l'eau à chauffer et qui occupent presque tout l'intérieur de la chaudière, ne laissant entre eux que les passages nécessaires pour assurer la rentrée et la sortie faciles de l'eau, ainsi que sa libre circulation.

Le foyer est placé sous le cylindre dont les parois sont d'abord chauffées par les gaz de la combustion. Ceux-ci passent ensuite dans l'intérieur des tubes du faisceau et se rendent enfin à la cheminée.

Lorsqu'il s'agit de produire de la vapeur, les chaudières tubulaires, ont cet inconvénient que l'enlèvement des incrustations qui s'y déposent est très difficile. Dans les chauffages par circulation d'eau, on utilise toujours le même liquide, sauf une faible quantité qu'on ajoute de temps à autre pour compenser les pertes résultant de l'évaporation ou des fuites; il se produit donc peu de dépôts, et les inconvénients résultant de la présence d'incrustations dans la chaudière sont beaucoup atténués.

1311. Chaudières multitubulaires. — Ces chaudières sont formées d'éléments tubulaires comme les réchauffeurs et les économisers (**745-748**). Ces éléments peuvent être groupés en serpentins parallèles dont la base communique avec un collecteur qui reçoit l'eau à chauffer et le sommet avec un autre collecteur sur lequel est branché le départ d'eau chaude.

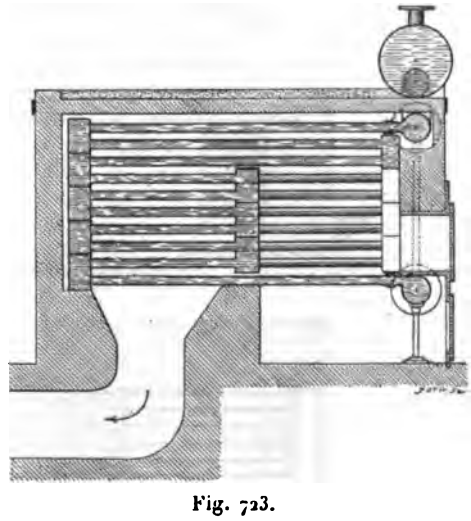


Fig. 723.

Dans son traité sur le chauffage par l'eau chaude, M. Baldwin décrit une chaudière multitubulaire dont le faisceau est disposé de telle sorte que la rangée inférieure de tubes constitue la grille; les serpentins

latéraux conservent une longueur uniforme et forment les parois du foyer (fig. 723).

Au-dessus de la première rangée inférieure de tubes, les serpentins intermédiaires sont, sur une certaine hauteur, réduits de longueur afin de réserver une chambre de combustion, au-dessus de laquelle ils reprennent leur longueur normale et forment le ciel du foyer.

On peut reprocher aux serpentins d'opposer une grande résistance au mouvement de l'eau et de pouvoir donner lieu à des productions de vapeur si leur développement est trop considérable.

1312. Chaudière Grouvelle. — Dans cette chaudière

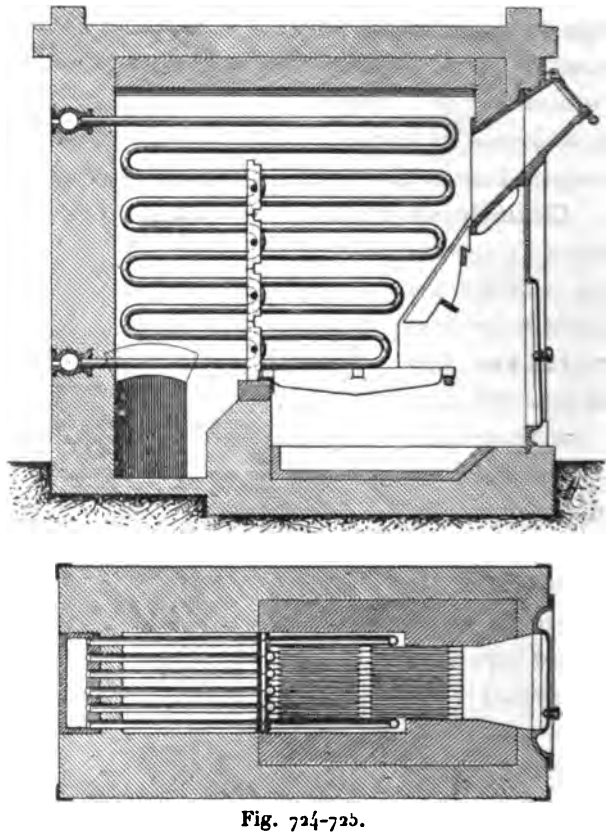


Fig. 724-725.

(fig. 724-725), que M. Grouvelle emploie indistinctement pour

le chauffage à basse ou à haute pression, chaque élément vaporisateur est formé d'un tuyau continu en fer, replié sur lui-même de manière à constituer un serpentin plat à spires inégales. Les spires supérieures occupent toute la longueur du vide du fourneau et sont exposées au rayonnement du combustible; les autres sont plus courtes et s'arrêtent en arrière de la grille; elles sont engagées dans une série de pièces en fonte jointives et juxtaposées formant autel.

Les éléments extrêmes du faisceau tubulaire s'étendent sur toute la longueur des parois latérales du fourneau.

Le foyer comporte deux grilles. l'une horizontale et l'autre inclinée. Les produits de la combustion s'élèvent le long de l'autel, puis redescendent à travers le faisceau tubulaire dans lequel l'eau circule en montant. Le chauffage est donc en partie méthodique.

1313. Chaudière Chibout. — M. Chibout construit une chaudière multitubulaire (fig. 726) composée de tubes parallèles

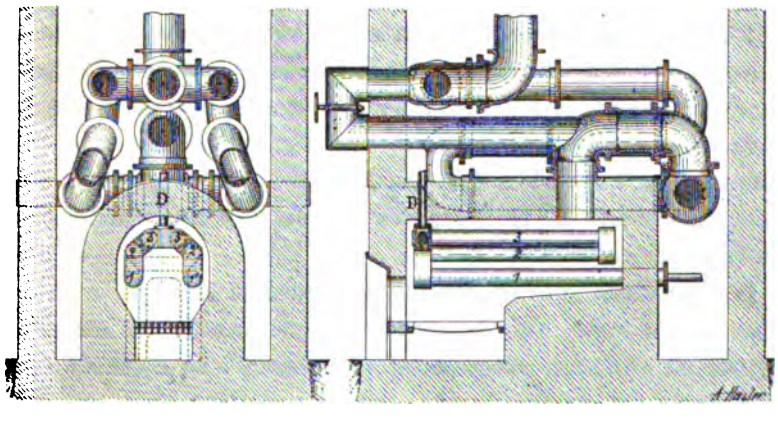


Fig. 726.

disposés en berceau et reliés deux à deux par des boîtes de communication. Les boîtes d'avant réunissent les tubes 1-2, 1'2' et 3-3', les boîtes d'arrière relient 2-3 et 2'-3'.

L'ensemble forme deux serpentins symétriques qui viennent se terminer à la boîte 3-3' d'où part le tuyau D distributeur d'eau

chaude. L'eau refroidie rentre dans la chaudière par l'extrémité postérieure des tubes 1 et 1'.

Le faisceau tubulaire est logé dans un fourneau en maçonnerie dont la grille occupe environ la moitié de la longueur. Les produits de la combustion circulent autour des tubes et sortent vers l'arrière pour se rendre à la cheminée dans laquelle ils ne pénètrent qu'après avoir circulé dans un appareil de calorifère à air chaud.

1314. Chaudière inclinée. — Dans certains cas, le faisceau multitubulaire présente une inclinaison de 0^m20 à 0^m30 par mètre; l'eau à chauffer arrive dans un distributeur d'alimentation placé à la base et à l'arrière du faisceau, se répartit entre les tubes, s'échauffe en montant et se rend directement dans un collecteur supérieur sur lequel est branché le tuyau d'ascension. Les gaz de la combustion suivent un chemin inverse de celui parcouru par l'eau à chauffer, et, à mesure qu'ils se refroidissent, rencontrent des parois de plus en plus froides. Cette disposition de chauffage est donc méthodique.

1315. Chaudière verticale. — On emploie, dans beaucoup de cas, des chaudières verticales à foyer intérieur, formées de deux cylindres concentriques recouverts chacun d'une calotte sphérique et laissant entre eux un espace annulaire contenant l'eau à chauffer. Les gaz du foyer chauffent d'abord la paroi intérieure de la chaudière et passent ensuite au contact de la paroi extérieure.

Les produits de la combustion passent dans le cylindre intérieur, sortent vers le sommet de la chaudière, circulent autour du cylindre extérieur et se rendent à la cheminée par le carneau.

L'eau chauffée arrive à la base de la chaudière, monte dans l'espace annulaire et sort par le tuyau de départ pour se rendre soit au vase d'expansion, soit dans les locaux à chauffer.

Pour augmenter la surface de chauffe, on dispose quelquefois dans la chambre du foyer des tubes bouilleurs recourbés analogues à ceux de la chaudière Durenne (**743**). L'emploi

de ces tubes rend plus difficile la construction de la chaudière.

1316. Chaudière tubulaire verticale. — Cette chaudière, comme la précédente, est formée de deux cylindres en tôle concentriques renfermant un foyer intérieur. Les fonds

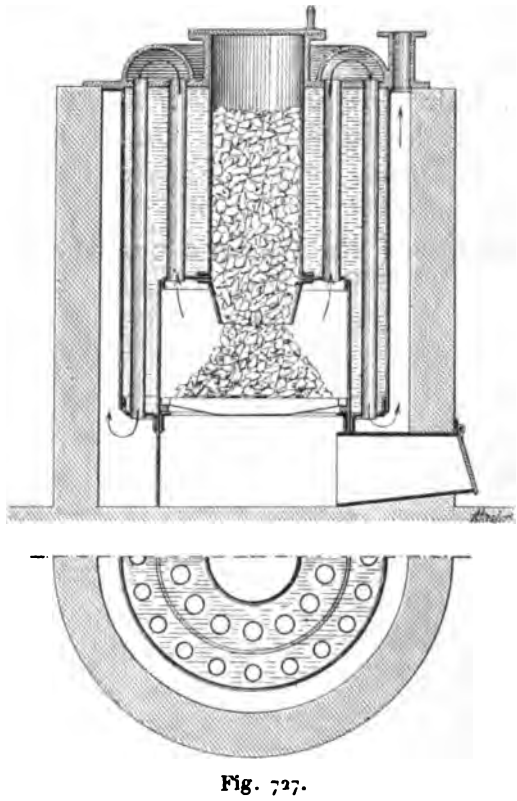


Fig. 727.

sont utilisés comme plaques tubulaires et reçoivent deux faisceaux de tubes de diamètre et de longueur différents.

Les flammes sortant du foyer passent dans les tubes du faisceau intérieur, arrivent au sommet de la chaudière et redescendent dans les tubes du second faisceau pour se rendre à la cheminée.

On modifie quelquefois cette chaudière, comme l'indique la figure 727, en la munissant d'un réservoir central et d'une

trémie que l'on remplit de combustible, ce qui permet d'abandonner le foyer à lui-même pendant un temps plus ou moins long. La trémie doit être rapidement détruite par l'action du feu.

On construit aussi des chaudières à eau que l'on munit de deux grilles disposées l'une au-dessus de l'autre. La grille supérieure est celle du foyer, la seconde sert à séparer les escarbilles des cendres qui tombent dans le cendrier. On extrait les escarbilles par une porte établie *ad hoc* au-dessus de la porte du cendrier. L'air se rendant au foyer s'échauffe au contact des escarbilles et des cendres et les refroidit. On utilise ainsi une certaine quantité de chaleur ordinairement perdue dans les autres appareils.

1317. Chaudière établie dans une cheminée d'appartement. — Le foyer de la cheminée (fig. 728) est conservé, et le revêtement intérieur est formé par les parois d'un bouilleur alimentant une circulation d'eau chaude qui permet de chauffer une salle voisine ou une petite serre. L'air extérieur arrive au pied et à l'arrière du bouilleur au contact duquel il s'échauffe avant de pénétrer dans l'appartement. Cette disposition n'est applicable qu'à de très petites installations, en raison du peu de surface de chauffe qu'on peut donner au bouilleur.

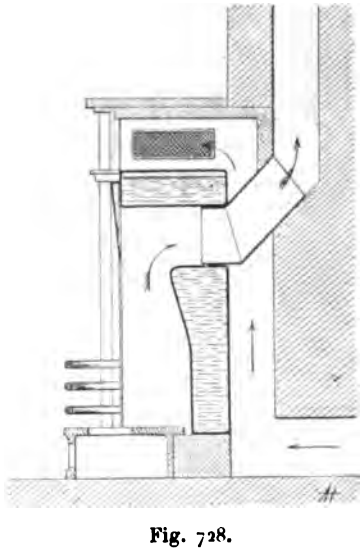


Fig. 728.

1318. Vase d'expansion. — Sous l'action de la chaleur, l'eau éprouve une dilatation qui doit pouvoir se produire en toute liberté, sous peine de rupture dans les appareils. Nous avons dit qu'on disposait pour cela, à la partie supérieure de la circulation, un récipient de capacité suffisante qu'on appelle *vase d'expansion*.

D'après Despretz, le volume de l'eau étant 1 à 4° devient 1,04315 à 100°, l'augmentation est donc de $0,04315 = \frac{1}{204}$ du volume total. En ne tenant compte que de la dilatation de l'eau, cette capacité serait plus que suffisante pour le vase d'expansion d'une circulation ouverte à l'air libre où la température de l'eau ne peut pas dépasser 100°; la variation de température de 4 à 100° serait en effet dans ce cas une limite extrême qui n'est jamais réalisée pour toute la masse d'eau; mais il faut se préoccuper d'autres phénomènes, notamment de la production de bulles de vapeur qui, lorsque le feu est plus poussé qu'il ne convient, viennent crever à la surface libre de l'eau et déterminent par-dessus les bords du vase des projections de liquide quelquefois très violentes.

Indépendamment des dégradations qu'elles produisent dans les bâtiments, ces projections d'eau peuvent quelquefois être assez abondantes pour vider le vase d'expansion et arrêter la circulation.

Elles sont occasionnées par les différences de pression qui existent entre la chaudière et le vase d'expansion. Si la différence de niveau entre ces deux appareils est de 20 mètres, l'écart de pression correspondant est à peu près de 2 kilogrammes effectifs. L'eau peut donc, sans entrer en ébullition, atteindre dans la chaudière une température supérieure à 130°.

A mesure que cette eau s'élève dans la colonne d'ascension, la pression à laquelle elle est soumise diminuant progressivement, une partie du liquide se transforme en vapeur et produit des bulles qui grossissent de plus en plus et viennent se dégager tumultueusement à la surface du vase d'expansion en occasionnant des projections d'eau. Pour éviter cet inconvénient, il convient de faire ce vase plus grand et plus haut qu'il n'est nécessaire pour loger l'excédent de volume résultant de la dilatation de l'eau.

Pour plus de sécurité, il est bon de le fermer par un couvercle (fig. 718) et de ne le faire communiquer avec l'atmosphère que par un tuyau débouchant au-dessus des toits.

1319. Moyens divers pour éviter la projection de l'eau du vase d'expansion. — Il est bon que le chauffeur soit averti, au moyen d'un thermomètre électrique ou autrement, que la température dans le vase d'expansion s'approche de 100°, afin qu'il puisse modifier en conséquence la marche du foyer.

On établit quelquefois, dans ce but, un tuyau de trop-plein au niveau correspondant à une température de 95° par exemple dans le vase d'expansion; lorsque cette température se trouve dépassée, l'eau en excès s'écoule dans le cendrier de la chaudière et le chauffeur est averti qu'il y a lieu de modérer le feu.

On peut aussi envoyer cette eau dans un récipient mobile équilibré qui descend dès qu'il est suffisamment rempli et ferme automatiquement le registre de fumée de la chaudière. Lorsque le chauffeur veut rétablir la marche normale, il vide le récipient qui remonte et ouvre le registre.

On peut encore éviter la projection de l'eau du vase d'expansion en établissant ce dernier non plus au sommet de la colonne d'ascension, mais à la partie supérieure d'un tuyau spécial partant du bas de la chaudière (fig. 717). Dans ces conditions, le vase d'expansion est toujours rempli d'eau relativement froide et il ne peut y avoir ni projection d'eau ni dégagement de vapeur.

On tombe alors dans un autre inconvénient. La vapeur qui se forme lorsque le feu est trop actif se rend dans les parties hautes des canalisations; la circulation de l'eau se trouve coupée et ne se produit plus que par soubresauts. Il en résulte des bruits, accompagnées de vibrations et de secousses qui donnent lieu à des fuites et peuvent même déterminer la rupture des appareils.

On emploie aussi le dispositif représenté par la figure 729, et qui est constitué de la manière suivante :

Un réservoir B, presque entièrement rempli d'eau est logé dans un renflement de la colonne partant du sommet de la chaudière et montant à l'expansion. Il communique par un tuyau C avec le bas d'un récipient lenticulaire O divisé en

deux compartiments par un diaphragme en caoutchouc E. Le compartiment inférieur est complètement rempli d'eau. Le couvercle de la chambre supérieure est percé d'un orifice qui laisse passer un étrier M fixé au diaphragme E et qui commande

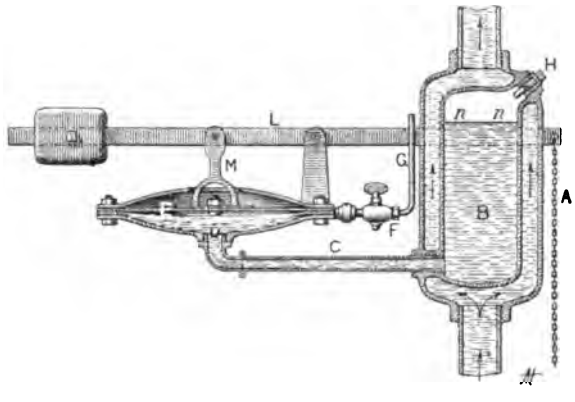


Fig. 729.

par l'intermédiaire d'un levier L et d'une chaîne A la porte du cendrier de la chaudière à eau chaude.

Quand la température de l'eau dans la colonne montante dépasse 100°, il se dégage, dans la partie supérieure de la chambre B, de la vapeur dont la pression se transmet à la membrane E qui se soulève, ferme la porte du cendrier et réduit l'activité de la combustion.

En plaçant ce régulateur à la base de la colonne montant au vase d'expansion, on peut faire en sorte que l'eau n'arrive jamais dans ce récipient à une température supérieure à 100° et, par suite, éviter les projections.

1320. Dispositions diverses de chauffage par circulation d'eau chaude. — Le premier appareil de chauffage par circulation d'eau chaude fut établi en France, en 1777, par Bonnemain et utilisé au chauffage d'un couvoir artificiel. Il se composait d'une chaudière du sommet de laquelle partait un tuyau vertical d'ascension d'eau chaude (fig. 730). Un tuyau descendant en serpentin circulait successivement dans les compartiments étagés du couvoir et ramenait à la chaudière

l'eau refroidie. Il y avait un vase d'expansion, des tuyaux de purge, d'air, de remplissage, etc.

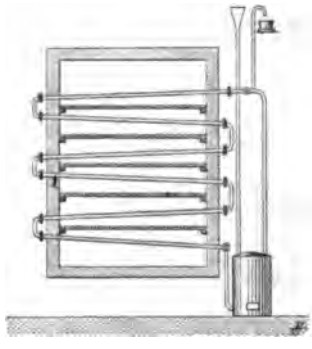


Fig. 730.

Cet appareil, très bien établi et fort remarquable pour l'époque, donna les meilleurs résultats.

On peut dire qu'il a servi de modèle pour les installations de chauffage par l'eau chaude établies depuis lors.

1321. Les divers systèmes de chauffage par l'eau chaude, tous basés sur le même principe, présentent dans les détails des dispositions très variées; nous allons passer en revue les principales en indiquant leurs avantages et leurs inconvénients respectifs.

Les canalisations peuvent être assez simplement établies, comme l'indique la figure 731. De la chaudière, placée dans le sous-sol, s'élève un tuyau ascendant d'eau chaude qui aboutit directement au vase d'expansion placé dans le comble. De ce vase, part le tuyau de retour d'eau qui se développe successivement à chaque étage sur toute la longueur du bâtiment, distribue ainsi la chaleur dans toutes les parties et revient à la partie inférieure de la chaudière.

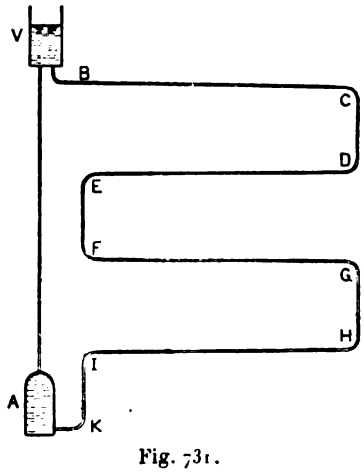


Fig. 731.

Cette disposition a plusieurs inconvénients; en particulier, les étages sont inégalement chauffés, puisque l'eau se refroidit à mesure qu'elle descend; pour obtenir une répartition convenable de la chaleur, il faut augmenter la surface de chauffe pour le premier étage et encore plus pour le rez-de-chaussée.

Il n'est d'ailleurs pas possible de régler séparément la température dans chaque étage ni de suspendre momentanément le chauffage dans l'un d'eux, s'il vient à être inhabité.

1322. Dans la disposition de la figure 732, la chaudière, la colonne ascendante et le vase d'expansion sont établis comme précédemment; mais le tuyau de retour suit le comble sur toute la longueur du bâtiment et redescend verticalement à l'autre extrémité pour venir à la chaudière par le sous-sol.

A chaque étage, un tuyau horizontal met en communication la colonne d'ascension avec la colonne de retour, et au moyen de robinets placés sur chaque ligne, on peut régler et même arrêter la circulation dans les divers étages.

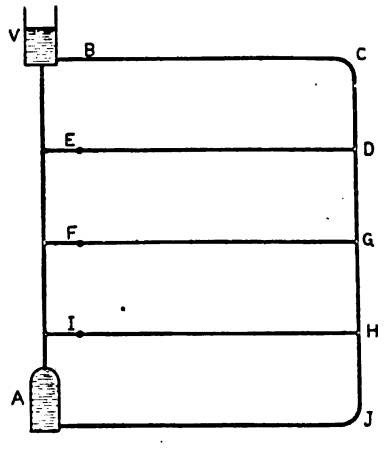


Fig. 732.

Cette disposition est très simple, mais le fonctionnement n'en est pas régulier; aucune force spéciale ne déterminant le mouvement dans chaque circuit horizontal, il peut arriver que la circulation se fasse normalement dans un seul et que, dans les autres, elle se fasse en sens contraire ou même qu'il n'y ait pas de mouvement du tout.

1323. On fait quelquefois redescendre, sur une hauteur plus ou moins grande, chaque tuyau de dérivation avant de le réunir au tuyau de retour (fig. 733) et on y intercale des organes régulateurs à résistance variable qui permettent d'assurer la circulation de l'eau dans les divers circuits.

Pour obtenir la répartition du courant dans toutes les dérivations, on peut, à chaque étage, établir sur la colonne montante des résistances qui entravent la circulation ascendante et forcent une partie de l'eau à passer dans l'embranchement correspondant.

1324. On peut aussi assurer la circulation de l'eau à chaque étage, la régler et l'arrêter au besoin, en employant la disposition de la figure 734.

Sur le tuyau de retour, dans le comble, on fait, à l'extrémité du bâtiment opposée à la colonne d'ascension, autant de prises qu'il y a d'étages à desservir; pour le rez-de-chaussée, on a la

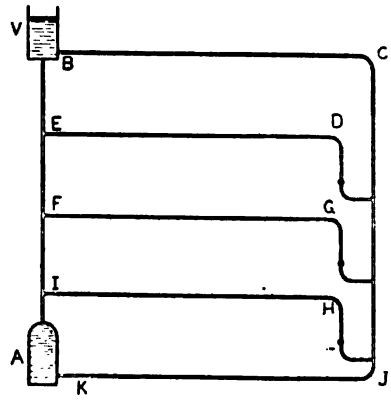


Fig. 733.

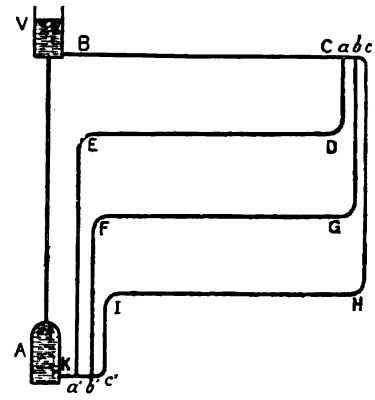


Fig. 734.

circulation *c*HI*c'*, pour le premier *b*GF*b'*, et pour le deuxième *a*DE*a'*; ces circulations se réunissent sur le collecteur de retour de la chaudière et, en mettant des robinets au bas des embranchements, on peut régler la circulation et l'arrêter au besoin.

Dans ces divers systèmes, les étages sont encore inégalement chauffés; la circulation de l'eau se fait d'autant mieux que la colonne froide de retour est plus haute, c'est-à-dire que les appareils de chauffage sont placés à une plus grande hauteur au-dessus de la chaudière.

La température de l'eau s'abaisse d'autant moins pour une même quantité de chaleur fournie, que la circulation est plus active; les étages supérieurs sont donc favorisés et, lorsqu'on chauffe très peu, les étages inférieurs peuvent ne recevoir aucune chaleur.

1325. Lorsque l'édifice chauffé a une certaine longueur, l'eau, se refroidissant au fur et à mesure qu'elle progresse dans les tuyaux, sa température peut avoir sensiblement diminué quand

elle arrive à l'extrémité du bâtiment. Les appareils placés dans cette région rendent alors moins que ceux qui sont voisins des colonnes de distribution d'eau chaude.

On pourrait faire disparaître cet inconvénient en augmentant les surfaces de chauffe à mesure qu'on s'éloigne du point d'arrivée, mais il est plus simple de doubler la canalisation comme dans la disposition représentée par la figure 735.

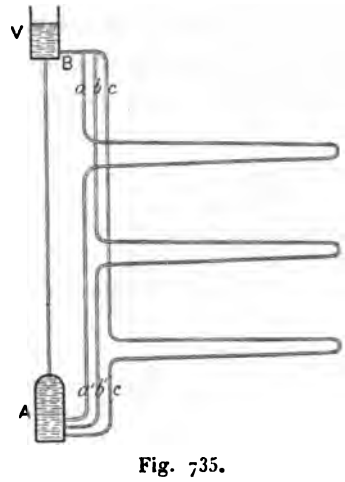


Fig. 735.

Du vase d'expansion part pour chaque étage un tuyau de distribution spécial qui descend à la hauteur du plancher correspondant, se développe jusqu'à l'extrémité du bâtiment, où il se retourne pour revenir parallèlement en sens inverse, et aboutit à la chaudière par une colonne descendante.

Dans ces conditions, la moyenne des températures du tuyau d'aller et de celui de retour est à peu près constante tout le long d'un circuit; on peut alors, pendant la marche normale, répartir convenablement le chauffage sur toute la longueur de l'édifice; mais, dans les temps doux, lorsqu'on ne pousse pas le feu, la circulation de l'eau est peu active, sa température décroît très vite et les parties les plus rapprochées de la colonne ascendante reçoivent plus de chaleur que les autres.

1326. Dans les diverses dispositions que nous venons d'énumérer, nous avons supposé que la surface des tuyaux suffisait pour fournir la chaleur nécessaire. Il en est rarement ainsi, et on est presque toujours obligé de placer sur les circulations des récipients ou poêles à eau chaude qui augmentent la surface de transmission dans une certaine proportion.

Quand il n'y a qu'un seul tuyau de circulation, il suffit de le faire communiquer avec la capacité du récipient par deux tubulures dont l'une s'élève un peu plus haut que l'autre. Il

s'établit dans chaque récipient une circulation, l'eau la plus chaude tendant toujours à monter à la partie supérieure par la tubulure la plus haute, tandis que l'eau la plus froide rentre dans le tuyau par la plus basse (fig. 736). L'eau chaude parcourant les différents poêles successivement, les plus éloignés sont toujours moins chauffés que les autres.

Pour isoler une surface de chauffe ainsi greffée sur une circulation, on peut employer le robinet à quatre voies représenté ci-dessous (fig. 737), qui permet de faire passer l'eau par

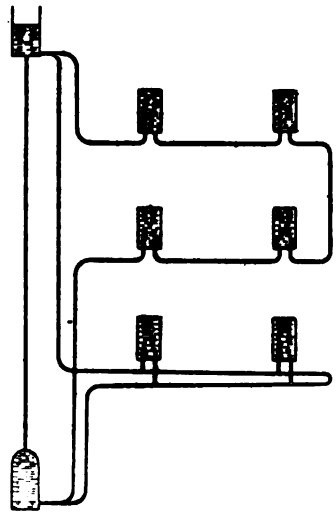


Fig. 736.

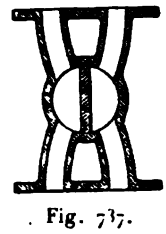


Fig. 737.

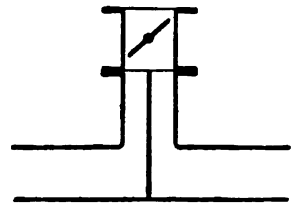


Fig. 738.

le poêle ou de former un court circuit en dehors de l'appareil.

On peut obtenir le même résultat en établissant une cloison dans la tubulure d'alimentation du poêle à eau et plaçant une valve au-dessus de la cloison (fig. 738).

Quand la canalisation de distribution comporte deux tuyaux, on fait communiquer la tubulure la plus haute avec le tuyau qui contient l'eau la plus chaude, et l'autre avec le tuyau de retour (fig. 736).

En plaçant deux robinets, un sur chacune des tubulures de raccordement, on peut isoler chaque poêle à volonté. On peut

aussi employer le robinet à quatre eaux que nous avons indiqué (fig. 737).

1327. Lorsque les bâtiments sont, comme c'est le plus souvent le cas, divisés verticalement par des murs de refend et qu'il faut pouvoir à volonté chauffer chaque division séparément, on peut employer la disposition de la figure 739.

Du vase d'expansion part une colonne horizontale qui se développe dans le comble. De distance en distance, on établit aux points convenables une prise qui dessert une colonne verticale descendante, placée soit contre les murs de face entre deux fenêtres ou dans un angle, soit contre les murs de refend.

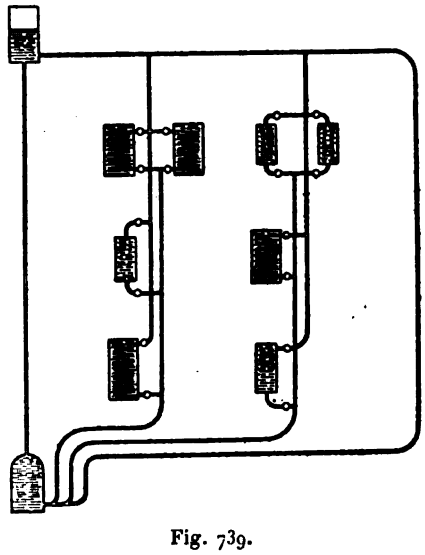


Fig. 739.

A chaque étage, on fait une prise pour amener l'eau dans des poêles constitués par des serpentins ou des cylindres formant surface chauffante. En sortant de ces poêles, l'eau rentre dans une colonne de retour verticale parallèle à la colonne d'alimentation et aboutissant à la chaudière.

Avec cette disposition, on peut au moyen de robinets ou de valves régler ou arrêter la circulation, non seulement dans chaque colonne verticale de distribution, mais encore dans chaque appareil.

Ce système de distribution doit comporter une ligne de retour directe non pourvue de robinet afin que la circulation de l'eau soit encore assurée dans le cas où tous les robinets des poêles seraient fermés.

1328. Surfaces chauffantes à eau chaude. — On emploie pour le chauffage par circulation d'eau chaude des canali-

sations formées de tuyaux en cuivre, en fer ou en fonte, soit à surface lisse, soit munis de nervures.

Dans ce dernier cas, les tuyaux verticaux portent des nervures longitudinales rectangulaires et les tuyaux horizontaux des ailettes transversales en forme de rectangle ou de cercle.

Lorsque les tuyaux d'aller et de retour d'eau qui traversent une enceinte sont insuffisants pour en assurer le chauffage, on les replie plu-

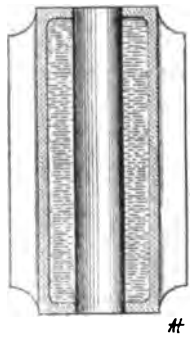


Fig. 740.

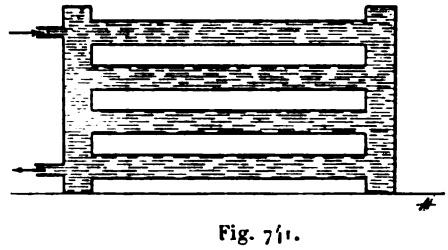


Fig. 741.

sieurs fois sur eux-mêmes, ou bien on fait circuler l'eau chaude dans plusieurs tuyaux à la fois.

Au lieu de recourir à ce procédé, on peut aussi faire circuler l'eau chaude dans des poêles qui peuvent être formés soit de cylindres verticaux, (fig. 740) traversés ou non par des tubes d'air et dont la paroi extérieure est lisse ou garnie de nervures, soit de groupes de tubes à surface lisse ou nervée et autour desquels circule de l'air soit de batteries (fig. 741), composées de tuyaux horizontaux superposés, à surface lisse ou pourvus d'ailettes extérieures, soit encore de batteries de tuyaux verticaux (fig. 742) fixés sur deux collecteurs horizontaux.

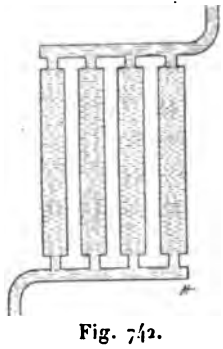


Fig. 742.

1329. Chauffage indirect. — Les canalisations et les surfaces chauffantes employées dans les chauffages à eau à grand volume sont le plus souvent très volumineuses et, dans bien des cas, les exigences de la décoration ou même de la construction

s'opposent à ce qu'on puisse placer ces appareils directement dans les locaux à chauffer. On les dispose alors dans les sous-

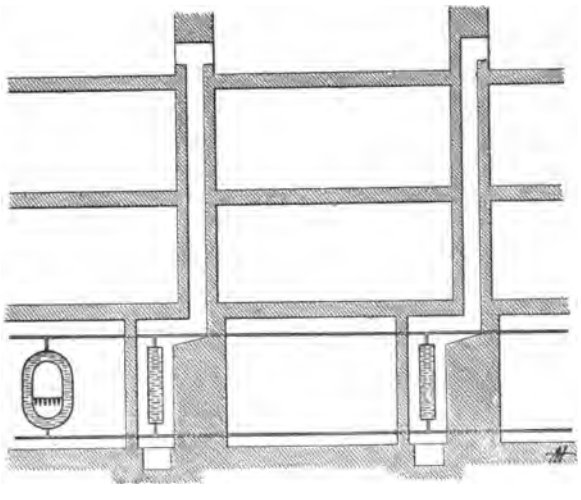


Fig. 743.

sols, de manière à constituer au-dessous des locaux à desservir des batteries chauffantes formées soit de poêles (fig. 743), soit

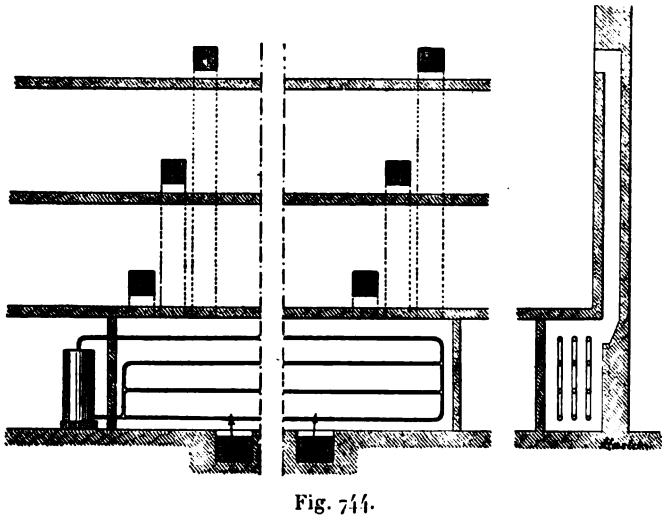


Fig. 744.

de tuyaux lisses ou nervés et enfermées dans des coffrages (fig. 744). Ceux-ci sont munis à leur partie inférieure d'une

prise d'air et, de leur sommet, partent des tuyaux conduisant l'air chaud dans les divers locaux.

Ce dispositif a le défaut d'encombrer les sous-sols et, ce qui est souvent grave, de les chauffer. D'ailleurs, on comprend que presque toutes les critiques applicables au chauffage par calorifère à air chaud le sont également à ce procédé.

Dans certaines installations, les conduites de distribution formant en même temps surfaces chauffantes sont disposées (fig. 745) dans des sortes de saignées verticales pratiquées dans les murs et recoupées par des cloisons horizontales qu'on établit, à peu près au niveau des planchers, de manière à constituer autant de compartiments qu'il y a d'étages ; chacun de ces compartiments présente à sa partie inférieure une prise d'air, et, à sa partie supérieure, une bouche pour le dégagement de l'air chaud. Les surfaces chauffantes placées en sous-sol desservent le rez-de-chaussée, celles qui sont disposées au rez-de-chaussée chauffent l'air qui se rend au premier étage, et ainsi de suite.

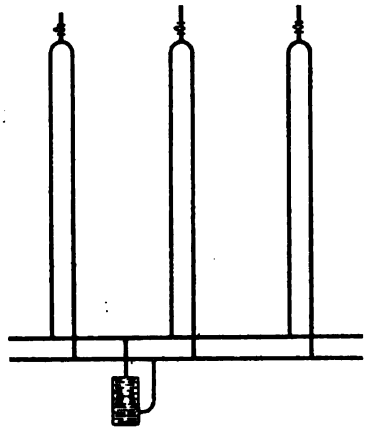


Fig. 745.

Une fois les tuyaux posés, on referme la saignée, en laissant la place nécessaire pour le passage de l'air ; les appareils de chauffage sont ainsi complètement dissimulés.

Quand on a recours à ce système, il faut prendre les plus grandes précautions pour éviter que des fuites ne viennent à se déclarer à un moment donné. Chaque fois, en effet, que cet accident se produit, il faut crever les coffrages, et cela presque toujours sur la hauteur de plusieurs étages, parce que, les tuyaux n'étant pas visibles, on ne sait pas au juste où est la fuite.

Quand les murs sont garnis de lambris, de tentures ou même

de peintures un peu soignées, on conçoit combien de pareilles réparations sont onéreuses.

CALCUL DES DIMENSIONS DES APPAREILS.

1330. Les éléments principaux à déterminer dans l'étude d'un chauffage par circulation d'eau chaude sont :

La surface de chauffe de la chaudière ;

La surface de la grille ;

La section et la hauteur de la cheminée ;

Le diamètre des tuyaux de la circulation d'eau chaude ;

La surface des appareils de chauffage.

La donnée du problème est toujours la quantité de chaleur C qu'il faut fournir utilement pour chauffer les différentes parties du bâtiment et qui se calcule comme nous l'avons indiqué (**1220**).

En désignant par ρ le rendement de la chaudière à eau chaude, par ps le poids de combustible brûlé par heure, par N la puissance calorifique de celui-ci et par β la fraction de chaleur perdue dans le transport de la chaleur de la chaudière à l'enceinte, on a

$$C = (\rho - \beta) ps N.$$

La fraction β de chaleur perdue dans le transport dépend de la surface des conduits et des précautions prises contre le refroidissement.

Cette perte β est en général peu importante parce que les tuyaux d'eau chaude ont un diamètre relativement faible ; dans certaines installations, quand ils sont bien enveloppés, la valeur de β peut rester au-dessous de 5 p. 100.

On peut, dans chaque cas, l'évaluer par le calcul, d'après l'étendue et la nature des surfaces exposées au refroidissement.

Pour les chaudières à eau chaude, le rendement ρ est en général plus faible que pour les chaudières à vapeur. Les surfaces de chauffe ont relativement moins d'étendue, de sorte que les gaz sont moins refroidis et, en outre, la combustion, moins

surveillée, est plus imparfaite ; le rendement de la plupart des chaudières à eau chaude ne dépasse ordinairement pas 0,50, il atteint rarement 0,60 et tout à fait exceptionnellement 0,70.

1331. Poids de combustible. — Surface de la grille. — Le poids ps de combustible à brûler par heure se déduit de l'équation précédente qui donne

$$ps = \frac{1}{\rho - \beta} \times \frac{C}{N}.$$

Quand on a déterminé ps, on en déduit la surface de la grille s en se donnant la valeur de p

$$s = \frac{1}{(\rho - \beta)p} \times \frac{C}{N}.$$

En général, le tirage est moins puissant et la combustion moins active dans les chaudières à eau chaude employées au chauffage des lieux habités que dans les chaudières à vapeur.

Aussi la valeur de p ne dépasse ordinairement guère 50 à 60 kilos. Par la manœuvre du registre, elle doit pouvoir se réduire à 20 kilos et même moins.

En prenant

$$\rho = 0{,}50 \qquad \beta = 0{,}10 \qquad N = 8000$$

on trouve

$$ps = 0{,}0003125C$$

et pour

$$p = 50^{\text{kgs}}$$
$$s = 0{,}00000625C.$$

1332. Surface de chauffe de la chaudière. — Nous avons vu que, pour les chaudières à vapeur, la surface de chauffe se calculait généralement en se basant sur une production moyenne de 15 kilos de vapeur par mètre carré, ou, ce qui revient à peu près au même, sur une transmission moyenne de 10 000 calories par mètre carré.

On peut adopter le même nombre pour le calcul de la surface des chaudières à eau chaude ; mais, comme on est souvent gêné

par la place, on cherche à réduire leurs dimensions le plus possible et, pour cela, on prend ordinairement pour base une transmission de 12000 et même 15000 calories par mètre carré.

Le rendement, comme nous l'avons expliqué au numéro **301**, est diminué, et, dans les conditions où nous nous sommes placés pour établir le tableau, il tombe à 0,60 pour 12000 calories et à 0,558 pour 15000.

On sacrifie donc un peu sur le rendement pour diminuer la place occupée et les frais d'installation.

Désignons par C le nombre effectif de calories à transmettre, par m le nombre moyen de calories transmises par mètre carré et par λ la fraction de chaleur perdue par la chaudière même (**367**); la chaleur M à transmettre à l'eau par les parois de la chaudière est $M = \frac{\rho+\lambda}{\rho-\beta} \times C$, et on a pour déterminer la surface S de chauffe la relation

$$S = \frac{M}{m} = \frac{\rho+\lambda}{\rho-\beta}\,\frac{C}{m}.$$

Les chaudières à eau chaude, étant presque entièrement entourées par les gaz de la combustion, la perte λ est très faible, (1 à 2 p. 100 par la porte et la devanture) et peut, en général, être négligée.

En prenant

$$\rho = 0{,}50 \qquad \beta = 0{,}10 \qquad \lambda = 0{,}01 \quad \text{et} \quad m = 12500$$

on trouve

$$S = \frac{0{,}51}{0{,}40} \times \frac{C}{12500} = 0{,}000102C.$$

C'est environ 1 mètre carré par 10000 calories, à transmettre utilement à l'enceinte.

Pour le cas considéré au n° (**1220**), on a :

$$C = 63960$$

d'où :

$$S = 6^{m2},52.$$

1333. Hauteur et section de la cheminée. — La température des gaz dans la cheminée étant généralement supérieure à 150°, on peut appliquer la formule

$$ps = 500\Omega\sqrt{\frac{H}{1+R}}.$$

La hauteur de la cheminée dépend de celle du bâtiment, qu'elle ne dépasse ordinairement que de quelques mètres. Elle est comprise entre 10 et 25 mètres.

Nous avons vu comment on peut calculer la résistance R (**420**). Cette résistance varie dans de grandes limites suivant le type de chaudière, la longueur et la forme des conduites.

Généralement elle est plus grande que pour les chaudières à vapeur, de sorte que le rapport $\frac{H}{1+R}$ est plus petit que l'unité. En prenant

$$\sqrt{\frac{H}{1+R}} = 0,80$$

on a

$$ps = 400\Omega$$

ce qui revient à dire qu'on peut brûler 400 kilogrammes de houille par mètre carré de cheminée.

1334. Surface chauffante des appareils de chauffage. Soient :

Q le coefficient de transmission à travers les parois de ces appareils ;

S_1 leur surface ;

θ la température de l'enceinte où ils sont placés ;

T la température moyenne de l'eau qui les parcourt.

On aura

$$S_1 = \frac{C}{Q(T-\theta)}$$

La température de l'eau chaude n'est pas uniforme dans toute l'étendue de l'appareil ; elle varie toujours de t à t_1 ; mais,

comme la différence est ordinairement assez faible, on peut prendre pour T la température moyenne

$$T = \frac{t_1 + t}{2}.$$

Pour $Q = 10$ et $T - \theta = 60°$, on trouve

$$Q(T - \theta) = 600$$

et

$$S_1 = \frac{C}{600} = 0{,}00166C.$$

Dans ces conditions, la surface de chauffe des appareils serait seize fois et demie plus grande que celle de la chaudière.

1335. Diamètre des tuyaux de circulation d'eau chaude. — Le diamètre des tuyaux de circulation d'eau chaude doit être déterminé par cette condition que sous l'action de la pression motrice E (**1306**) il passe par 1″ un poids d'eau P tel qu'en se refroidissant d'un nombre de degrés déterminé $(t_1 - t)$, il fournisse à l'enceinte la quantité de chaleur C nécessaire au chauffage.

Désignons par D ce diamètre et par v la vitesse de l'eau qui passe par 1″, on a

$$P = 1000 \frac{\pi D^2}{4} v \qquad (1)$$

P étant exprimé en kilogrammes, D et v en mètres.

La quantité utile de chaleur à fournir par heure étant C, celle que l'eau chaude emporte de la chaudière est, à cause des pertes dans le transport, $\frac{\rho}{\rho - \beta}C$, et on doit avoir

$$\frac{\rho}{\rho - \beta} C = 3600P(t_1 - t). \qquad (2)$$

Dans chaque cas particulier, il faut évaluer, comme nous l'avons dit (**1330**), les valeurs de ρ et β.

La pression motrice est $E = H(d - d_1)$ (**1306**), H étant la hauteur commune des colonnes montante et descendante, et $d - d_1$

la différence de densité des liquides qu'elles renferment; la pression $e = d\frac{v^2}{2g}$ qui correspond à la vitesse réelle est plus faible que E à cause des résistances, et on a, en ne tenant compte que du frottement (**179**),

$$e = d\frac{v^2}{2g} = \frac{E}{1 + \frac{4KL}{D}} \qquad (3)$$

K étant le coefficient de frottement; L la longueur du circuit et D le diamètre de la canalisation.

En prenant $d = 1$ et en éliminant v entre les équations (1) et (3), il vient, en négligeant l'unité à côté de $\frac{4KL}{D}$,

$$D = 0{,}0202\sqrt[5]{\frac{P^2L}{E}}.$$

Pour exprimer ce diamètre en fonction de la quantité de chaleur C et de la différence de température, il suffit de remplacer P par sa valeur (2) et E par $H(d - d_1)$.

Comme, entre 60° et 90°, on a approximativement $d - d_1 = 0{,}00065(t_1 - t)$, on trouve après substitution

$$D = 0{,}0033\sqrt[5]{\left(\frac{\rho}{\rho - \beta}\right)^2 \frac{C^2L}{H(t_1 - t)^3}}$$

Le diamètre du tuyau est d'autant plus grand que la différence de température $t_1 - t$ est plus faible; en prenant $\frac{\rho}{\rho - \beta} = 1{,}25$ et donnant à $t_1 - t$ différentes valeurs, on trouve pour D les nombres suivants :

$$t_1 - t = 10^\circ \qquad D = 0{,}0009068\sqrt[5]{\frac{C^2L}{H}}$$

$$t_1 - t = 20^\circ \qquad D = 0{,}0005984\sqrt[5]{\frac{C^2L}{H}}$$

$$t_1 - t = 40^\circ \qquad D = 0{,}0003944\sqrt[5]{\frac{C^2L}{H}}$$

Les calculs ont été faits en prenant le coefficient de frottement $K=0,01$, qui est à peu près un maximum ; si on avait pris $K=0,005$, les nombres ci-dessus auraient dû être réduits dans le rapport $\sqrt[5]{\frac{1}{2}}=0,870$.

1336. Application. — Appliquons les formules précédentes au calcul des tuyaux et des appareils à eau chaude nécessaires pour le chauffage du bâtiment pour lequel nous avons trouvé (**1220**) que, dans les grands froids, il fallait fournir par heure une quantité de chaleur

$$C=63960.$$

En prenant

$$p=50\,\text{kg} \qquad \rho=0,50 \qquad \beta=0,10 \qquad N=8000$$

$$\frac{\rho}{\rho-\beta}=1,25; \qquad \frac{\rho}{\rho-\beta}C=79950.$$

On trouve successivement :

Poids du combustible.

$$ps=0,000312C$$
$$ps=19^{k},95.$$

Surface de grille. — Pour

$$s=\frac{19^{m2}95}{50}=0^{m2},40.$$

Surface de chauffe de la chaudière.

$$S=0,000102C$$
$$S=6^{mq},52.$$

Section de la cheminée.

$$\Omega=\frac{ps}{400}$$

$$\Omega=0,0498 \qquad \text{Diamètre}=0,25.$$

Surface de chauffe des appareils.

$$S=0,00166C$$
$$S=106^{m2}17,$$

Diamètre du tuyau de circulation. — Pour une différence de température de 20°

$$D = 0{,}000598 \sqrt{\frac{C^2 L}{H}}.$$

en supposant

$$L = 100 \quad \text{et} \quad H = 20$$

$t_1 - t = 20°$	$D = 0{,}000598 \times 115{,}4 = 0{,}069$
10	0,104
40	0,045

Plus on augmente la différence de température entre les colonnes ascendantes et descendantes, plus on peut réduire le diamètre des tuyaux de circulation.

Cette réduction résulte de deux causes, d'abord de ce que la puissance motrice est augmentée par suite de la différence de densité plus grande des deux colonnes, puis de ce que le volume d'eau qui circule varie en raison inverse de la température.

Mais, d'un autre côté, la température moyenne de l'eau dans les appareils de chauffage étant moindre, il faut augmenter leur surface totale de chauffe.

1337. Chauffage sans pression à moyen volume. — Le système de chauffage par l'eau chaude à grand volume, seul employé autrefois, est aujourd'hui presque complètement abandonné, en raison des inconvénients qu'il présente.

En effet, les dimensions excessives des tuyaux de distribution et des appareils de chauffage, leur poids considérable, l'encombrement auquel ils donnent lieu, en rendent le plus souvent l'établissement pour le moins très incommode.

D'ailleurs, la grande quantité d'eau qu'ils renferment forme un énorme volant de chaleur qui ne permet que des variations très lentes dans la température de l'eau. Dans certaines installations, il faut, à la mise en train, plusieurs jours pour établir le régime normal; puis, une fois ce résultat obtenu, il est impos-

sible de modifier assez rapidement l'allure pour suivre les variations de la température extérieure. Les canalisations ayant des diamètres assez considérables, on les établit le plus souvent en fonte, par économie; elles sont alors rarement d'une étanchéité satisfaisante.

Enfin, les appareils à grand volume se prêtent assez mal à l'établissement d'un chauffage rationnel, suivant les principes généralement admis aujourd'hui.

On s'attache, de plus en plus, à éviter les inconvénients du chauffage par l'eau à grand volume et on arrive aujourd'hui, sinon à les faire disparaître, du moins à les atténuer dans une large mesure.

Pour cela, on s'efforce de réduire la capacité totale et les

Fig. 746.

dimensions des divers éléments que comporte une installation de ce genre.

Dans ce but, les circuits sont autant que possible constitués par des tuyaux de $0^m,050$ de diamètre au plus, en fer, à joints spéciaux manchonnés parfaitement étanches.

Dans la plupart des cas, ces tuyaux peuvent être facilement installés; ils servent en même temps de conduites de distribution et de surfaces chauffantes; à cet effet on renforce leur puissance de chauffe en les garnissant (fig. 746) d'ailettes rapportées, frettées sur eux à contact intime ou bien fixées au moyen d'un mastic. Ils peuvent ainsi développer une grande surface sous un petit volume.

La chaudière employée est d'un type multitubulaire de faible capacité et le volume total de l'eau contenue dans l'ensemble des appareils est relativement peu considérable; la mise en régime peut être obtenue assez rapidement et le système présente une souplesse suffisante tout en conservant une certaine

stabilité qu'on recherche dans les installations où le chauffage doit pouvoir être continué quelque temps après l'extinction du feu dans le foyer.

CHAUFFAGE PAR L'EAU CHAUDE SOUS PRESSION.

1338. Nous avons fait remarquer que l'emploi d'un vase d'expansion ouvert avait pour conséquence la limitation à 100° de la température de l'eau dans ce récipient. Malgré l'ouverture du vase d'expansion on peut bien, par des artifices, avoir dans les tuyaux de l'eau à plus de 100°; mais on est alors exposé à des soubresauts et à une marche assez irrégulière. Quand on veut dépasser la température de 100°, on préfère fermer le vase d'expansion et on a alors des *appareils à pression.*

1339. Chauffage à eau sous pression et à grand volume. — Dans certaines installations de chauffage à eau à grand volume, on a fermé le vase d'expansion et on y a établi une soupape de sûreté chargée de manière à limiter la pression à 2 ou 3 kilogs.

Cette disposition, qui permet d'élever à 130° ou 140° environ la température de l'eau et, par suite, celle des surfaces chauffantes, est dangereuse, car, en raison de la grande masse de liquide à haute température que renferme l'ensemble des appareils de chauffage, on est exposé à de véritables explosions.

Un accident de ce genre est arrivé, en janvier 1858, au chauffage à eau à grand volume, sous pression, de l'Église Saint-Sulpice.

Pendant un office, un poêle à eau, placé dans la chapelle de la Vierge, s'est rompu; on a eu à déplorer la mort de cinq personnes et plus de dix autres ont été blessées.

Il ne faut jamais fermer le vase d'expansion d'un système de chauffage à eau à grand volume.

1340. Chauffage à haute pression, système Perkins. — Dans ce système, le chauffage est obtenu par la circulation d'eau chaude dans des tuyaux de très petit diamètre (15 millimètres de diamètre intérieur seulement) longeant le bas des murs des locaux à chauffer et formant un circuit continu.

Les extrémités de deux tubes consécutifs à réunir sont filetées, l'une à droite et l'autre à gauche; de plus, l'une d'elles est taillée en biseau et l'autre présente une partie plate bien dressée. On engage les deux parties filetées dans un manchon taraudé moitié à droite et moitié à gauche; en le faisant tourner dans le sens convenable et en s'opposant à la rotation des tuyaux, ceux-ci se rapprochent de plus en plus l'un de l'autre, viennent en contact et, enfin, le biseau de l'un pénètre dans la partie dressée de l'autre; on obtient ainsi un joint inaltérable d'une parfaite étanchéité.

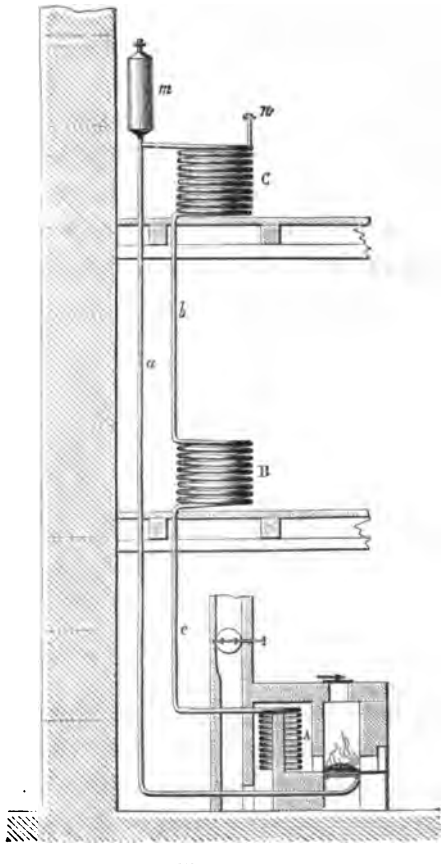


Fig. 747.

Une portion de ces tuyaux, enroulés sur eux-mêmes en serpentin A et placés dans un fourneau, est soumise à l'action du feu (fig. 747).

Le combustible est chargé soit dans une chambre spéciale en maçonnerie comme l'indique la figure 747, soit, plus fréquemment, dans l'intérieur même du serpentin dont les tuyaux sont alors en contact avec le combustible en ignition. L'eau chauffée se rend au serpentin B, puis au serpentin C et revient au foyer par le tuyau *a*.

Dans ces appareils, l'eau sort parfois du fourneau à une température très élevée (quelquefois supérieure à 300°); aussi désigne-t-on ce système sous le nom de chauffage à haute pression.

En raison de leur petit diamètre, les tubes sont exposés à s'engorger et il peut en résulter des ruptures; cependant, comme ces tuyaux présentent une résistance énorme, vu leur petit diamètre et leur grande épaisseur, il est assez rare de les voir se rompre sous l'influence de la pression. Mais leur température excessive peut déterminer des accidents, si on n'a pas la précaution de les écarter des bois et autres corps inflammables.

En général, Perkins établissait des circuits continus sans aucune dérivation et ne plaçait pas de robinets de réglage.

Ce système a reçu de nombreuses applications en Angleterre et en Allemagne, mais il s'est peu répandu en France.

1341. Dans certaines installations de chauffage, genre Perkins, on supprime le vase d'expansion *m* et on fait usage d'une

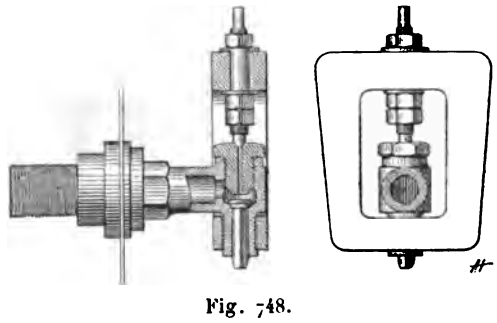


Fig. 748.

soupape à double effet, dont le but est de maintenir les appareils constamment pleins d'eau (fig. 748). Quand l'eau se dilate sous l'influence de l'élévation de température, la soupape supérieure se soulève et lui livre passage; quand la température de l'eau diminue, ce liquide se contracte et il tend à se produire un vide relatif dans les tuyaux; la soupape inférieure doit alors se soulever pour laisser rentrer l'eau.

Cette disposition présente plusieurs inconvénients : d'abord, la soupape inférieure ne peut se soulever qu'autant que la pression intérieure redescend au-dessous de la pression atmosphérique, c'est-à-dire qu'autant que la température de l'eau retombe au-dessous de 100°; par conséquent, chaque fois que

l'eau se refroidit, mais sans descendre au-dessous de 100°, les canalisations se trouvent incomplètement remplies et, la circulation de l'eau étant coupée, il se produit des claquements. En outre, les soupapes sont exposées à fuir; les appareils peuvent alors se vider presque complètement et, si on ne s'en aperçoit pas à temps, on risque de brûler les serpentins de foyer. Il paraît préférable d'employer des vases d'expansion de capacité suffisante et de ne pas recourir aux soupapes.

1342. Chauffage à moyenne pression. — En France, on emploie peu le système Perkins et on tend de plus en plus à abandonner les systèmes à grand volume d'eau, mais on se sert beaucoup, depuis quelques années, du chauffage par circulation d'une petite quantité d'eau chaude à moyenne pression.

1343. *MM. Geneste et Herscher* ont adopté, pour le chauffage par l'eau chaude à moyenne pression, un système auquel ils donnent le nom de « Microsiphon » pour rappeler qu'il n'entre que des tubes de petit diamètre dans la composition de ses éléments essentiels. Le serpentin placé dans le foyer, les conduites de distribution, les surfaces chauffantes, sont uniquement formés de tubes en fer de 25 millimètres de diamètre intérieur assemblés les uns à la suite des autres de manière à former un circuit continu.

L'eau du serpentin du foyer, étant soumise à l'action du feu, s'échauffe et diminue de densité ; elle monte au vase d'expansion et se trouve remplacée par de l'eau plus froide qui s'échauffe et s'élève à son tour. L'eau du vase d'expansion redescend et circule dans les conduites desservant les locaux à chauffer; de là elle revient au fourneau, rentre à la base du serpentin qu'elle parcourt de bas en haut et recommence sa circulation. Plusieurs serpentins peuvent être groupés dans un même fourneau, chacun d'eux desservant un circuit spécial.

Les surfaces chauffantes sont formées par les tuyaux mêmes de distribution, qui sont disposés au bas des murs des locaux à chauffer; pour obtenir la surface nécessaire, on peut enrouler ces tuyaux sur eux-mêmes en forme de serpentins ou, ce qui est le plus souvent préférable, les munir de place en place, où cela est

nécessaire, d'ailettes en fer rapportées et frettées, qui permettent d'augmenter considérablement leur puissance de chauffe.

A la partie supérieure des canalisations se trouve le vase d'expansion, formé de tubes de $0^m,072$ de diamètre intérieur communiquant entre eux.

Enfin, le système comporte des appareils accessoires : manomètre avertisseur électrique, robinets de réglage et de remplissage, etc...

Nous allons décrire les diverses parties du microsiphon :

1° *Fourneau.* — Le fourneau est formé d'une chambre en maçonnerie maintenue par des armatures et divisée en deux com-

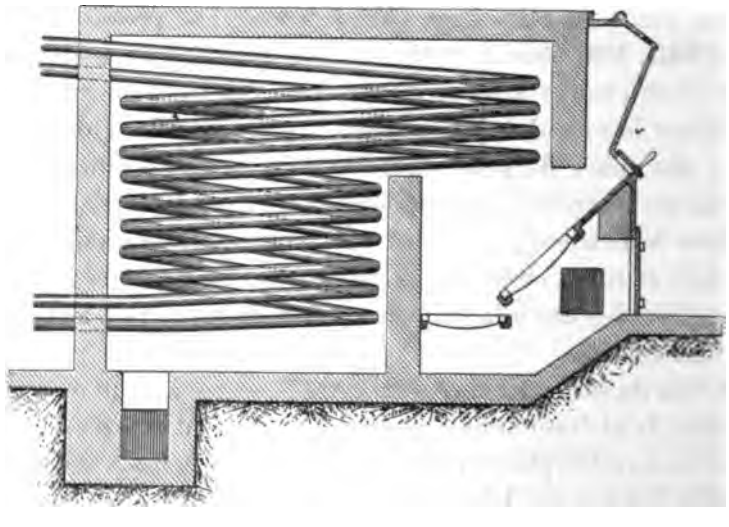


Fig. 749.

partiments par un mur d'autel en avant duquel se trouve placé le foyer.

Les serpentins soumis à l'action du feu comprennent un certain nombre de grandes spires qui ont toute la longueur du fourneau et occupent la partie supérieure du premier compartiment, et d'autres de moindre longueur qui sont logées dans le second.

Les gaz chauds de la combustion viennent d'abord lécher les grandes spires, puis redescendent dans le second comparti-

ment au contact des petites spires que l'eau parcourt de bas en haut; le chauffage est très sensiblement méthodique.

Le fourneau est souvent muni d'un foyer à grille inclinée et d'une trémie permettant l'alimentation continue et automatique pendant un temps assez long; on peut aussi employer le foyer à gradins pour combustibles menus, que nous avons déjà décrit (**1289**).

2° *Conduites de distribution et surfaces chauffantes.* — Elles sont constituées par des tuyaux en fer de 25 millimètres de diamètre intérieur et de 5 millimètres d'épaisseur de paroi. Ces tuyaux sont assemblés à la suite les uns des autres, au moyen de joints manchonnés du système Perkins.

Primitivement, les surfaces chauffantes étaient uniquement constituées par des tuyaux lisses, enroulés au besoin sur eux-mêmes en forme de serpentins, ce qui permettait de développer dans chaque local la surface chauffante nécessaire. Ces serpentins introduisaient dans les canalisations un nombre souvent considérable de coudes qui nuisaient beaucoup à la circulation de l'eau.

Depuis, on les a remplacés par des tuyaux à ailettes, obtenus en fixant sur les tuyaux lisses des ailettes en fer rapportées et assemblées à contact intime.

A égalité de longueur, un tuyau ainsi préparé peut émettre de cinq à six fois plus de chaleur qu'un tuyau lisse de même longueur non muni d'ailettes. La distance d'axe en axe de celles-ci varie suivant la surface de chauffe qu'on désire obtenir. Elles sont excentrées vers le bas, de manière que leur partie supérieure affleure presque le dessus du tuyau; cela facilite beaucoup l'enlèvement des poussières qui se déposent surtout sur la moitié supérieure des tuyaux.

Cette précaution, toujours bonne à prendre, présente un intérêt particulier dans les salles d'hôpitaux, par exemple, où les poussières contiennent généralement un assez grand nombre de germes morbides.

Les diverses batteries chauffantes sont, le plus souvent, placées en dérivation; elles portent alors à leur base un robinet

et peuvent être rendues tout à fait indépendantes les unes des autres. Nous avons représenté (fig. 750) une batterie ainsi établie en dérivation.

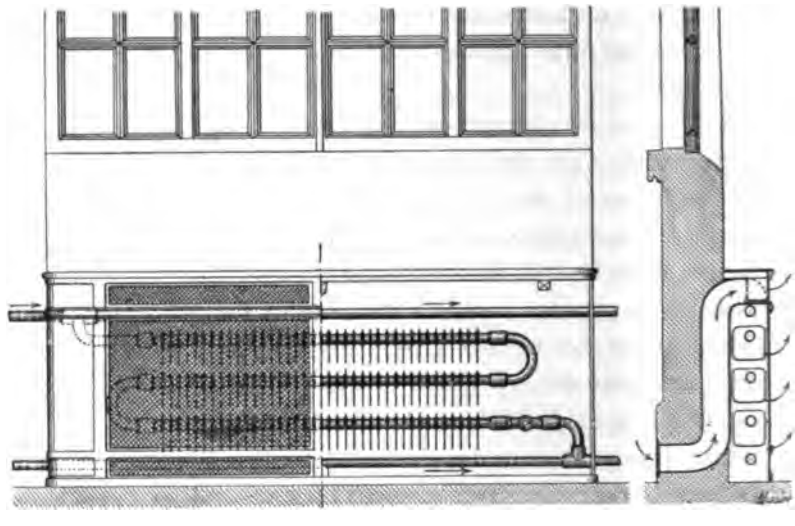


Fig. 750.

Le tuyau supérieur contient de l'eau chaude sortant des serpentins; dans le tuyau inférieur circule l'eau refroidie qui revient vers le fourneau. On assure la répartition de l'eau dans les diverses batteries en égalisant leurs résistances au moyen de régulateurs. Chaque fois que cela est possible, les tuyaux et surfaces chauffantes doivent rester apparents; sinon, on les place dans des coffrages facilement démontables, dont les parois métalliques ajourées laissent passer l'air chaud et la chaleur rayonnante.

Ces enveloppes, lorsqu'elles sont convenablement étudiées, peuvent fournir un motif d'ornementation, ce qui permet de les placer même dans des salles richement décorées.

3° *Vases d'expansion.* — Ils sont disposés au dessus de l'ensemble de tout le système (fig. 751) et constitués par un nombre convenable de cylindres *ee* de $0^m,072$ de diamètre présentant des tubulures de $0^m,025$ de diamètre qui permettent de les raccorder entre eux au moyen de pièces en T. Ils sont pourvus

de deux tuyaux *f*, *g* munis de bouchons taraudés et garnis de plomb, qu'on dévisse lorsqu'il est nécessaire d'ajouter une petite quantité d'eau dans les appareils.

Quoique ceux-ci soient parfaitement étanches, on constate, en effet, qu'après quelques jours de fonctionnement et en l'absence de toute fuite visible, le niveau de l'eau a baissé. Ce fait se produit surtout lorsqu'on vient de remplir les canalisations; il tient alors en grande partie à ce que l'air dissous dans l'eau et les bulles d'air qui s'étaient cantonnées dans les points hauts ont été entraînés par le mouvement de l'eau et sont venus se dégager dans le vase d'expansion; l'eau s'est alors pour ainsi dire tassée; en marche courante, la perte de liquide est absolument insignifiante.

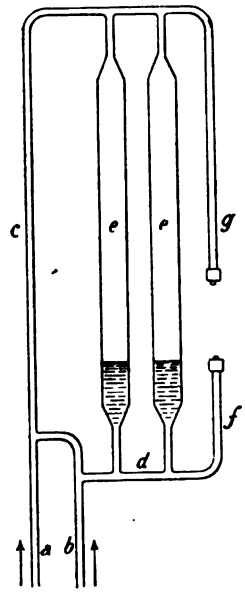


Fig. 751.

Lorsqu'on veut ajouter de l'eau, on profite d'un moment où l'appareil est refroidi; on enlève d'abord le bouchon du tube *g*, ce qui rétablit la pression atmosphérique à l'intérieur des vases, puis le bouchon du tube *f*, par lequel on verse de l'eau jusqu'à ce qu'elle affleure les bords de ce tube.

On revisse ensuite les deux bouchons.

Il est bon de retirer d'abord le bouchon *g* pour éviter des projections d'eau chaude dans le cas où, par maladresse, on voudrait ajouter de l'eau pendant que les appareils sont encore trop chauds.

Dans certains cas spéciaux, on a disposé sur les vases d'expansion des indicateurs de niveau, soit à tube de verre, soit à robinets, mais l'emploi de ces appareils est le plus souvent inutile. Dans les installations où le chauffage est continu, on peut alimenter à l'aide d'une petite pompe foulante à main et on contrôle la hauteur de l'eau au moyen de l'indicateur de niveau du vase d'expansion.

1344. Remplissage des appareils. — Pour que la cir-

culation de l'eau se fasse convenablement dans les appareils, il est indispensable qu'ils soient bien purgés d'air ; pour obtenir ce résultat, il faut effectuer le remplissage au moyen d'une pompe à grand débit de manière que, l'écoulement se faisant toujours à plein tuyau, l'eau introduite forme comme une sorte de piston qui refoule l'air devant lui et l'expulse même des parties en contre-pente.

Pour éviter que l'eau refoulée par la pompe n'arrive de plusieurs côtés à la fois et n'emprisonne des bulles d'air, on la fait passer par un robinet à trois eaux (fig. 752) disposé à la base de la colonne de retour et dont on tourne d'abord la clef de manière à remplir la canalisation de retour ; on tourne ensuite la clef d'un demi-tour et on achève le remplissage.

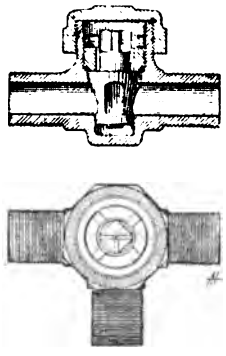


Fig. 752.

Pour faciliter cette opération, on peut desserrer les bouchons qu'il est toujours prudent de placer dans les points hauts où de l'air pourrait se cantonner.

1345. Manomètre avertisseur électrique. — Les dimensions des serpentins de foyer sont calculées de manière à ce que la pression ne puisse pas s'élever notablement ; toutefois, pour éviter qu'on ne pousse le feu plus que de raison, ce qui fatiguerait inutilement les appareils, on fait usage d'un manomètre qui détermine la mise en marche d'une sonnerie électrique dès que la pression atteint la limite qu'on s'est fixée.

1346. *M. Grouvelle* installe le chauffage à moyenne pression comme un chauffage à eau ordinaire, mais en n'employant que des tuyaux de diamètres relativement très petits. Il intercale dans les divers circuits des résistances réglables permettant d'assurer la circulation de l'eau dans chacun d'eux.

Du collecteur supérieur de la chaudière, constituée comme nous l'avons dit, (**1312**) partent une ou plusieurs colonnes montantes (fig. 753), d'un assez fort diamètre, sur lesquelles sont branchés, à chaque étage, des tuyaux plus petits desservant les divers appareils de chauffage. Ceux-ci sont de même reliés par des

conduits secondaires à des colonnes principales de retour d'eau refroidie débouchant dans le collecteur inférieur de la chaudière.

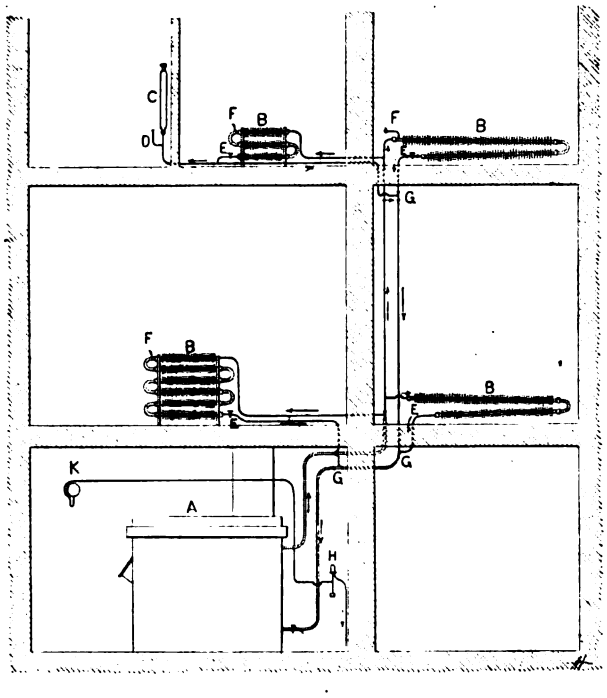


Fig. 753.

Pour assurer une répartition convenable dans les divers circuits dérivés, on égalise leur résistance au mouvement de l'eau en intercalant sur chacun d'eux un organe régulateur E, sorte de robinet qu'on ouvre, une fois pour toutes, de la quantité convenable.

Le raccordement des tuyaux secondaires de retour d'eau froide avec les colonnes principales s'effectue au moyen d'une pièce spéciale, disposée de manière à favoriser autant que possible l'entraînement de l'eau (fig. 754).

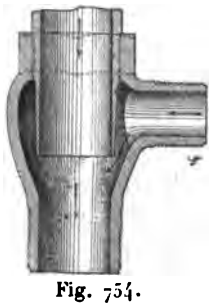


Fig. 754.

L'appareil comporte, en outre, une soupape de sûreté H reliée à l'origine des canalisations et enfermée dans un récipient muni d'un tuyau de vidange, un manomètre K,

un vase d'expansion C et une tubulure de remplissage D.

1347. Avantages du chauffage à eau à moyenne pression. — En raison du petit diamètre des tubes qu'ils comportent, de leur solidité à toute épreuve et de leur parfaite étanchéité, les systèmes de chauffage à eau à moyenne pression que nous venons de décrire peuvent être installés partout; ils présentent une grande sécurité, d'abord parce que leurs tubes pourraient résister à une pression très considérable, alors qu'en marche courante celle-ci ne dépasse guère 5 à 6 kilos et, ensuite, parce qu'ils ne contiennent que très peu d'eau.

La faible capacité de l'ensemble de leurs éléments donne à ces systèmes une grande souplesse; enfin, le soin de les faire fonctionner peut être confié au premier venu.

Ils conviennent tout particulièrement pour les maisons d'habitation privée, et, d'une manière générale, pour tous les bâtiments où l'on ne veut pas recourir à l'emploi du chauffage par la vapeur. Ils permettent d'établir un chauffage rationnel en créant une véritable ceinture de chaleur, au bas et tout le long des parois froides. Les parois refroidissantes sont ainsi directement chauffées ce qui est indispensable, aussi bien pour la perfection du chauffage que pour celle de la ventilation.

SYSTÈMES DIVERS DE CHAUFFAGE PAR L'EAU CHAUDE.

1348. Appareils à pulsations. — On se sert dans les sucreries, depuis plus de vingt-cinq ans, pour réchauffer les mélasses en cristallisation et faciliter le dépôt des cristaux de sucre, d'un appareil à circulation qui fonctionne par pulsations.

Cet appareil se compose d'un bouilleur placé sur un foyer ordinaire, d'un récipient utilisé comme surface chauffante et immergé dans la masse à chauffer, enfin de deux tuyaux pourvus chacun d'une soupape de retenue, qui relient le bouilleur et le récipient.

Le bouilleur renferme un flotteur sur la tige duquel se trouve une soupape permettant de faire communiquer, en temps utile, l'intérieur du bouilleur avec l'atmosphère.

L'appareil étant convenablement rempli d'eau et mis en ser-

vice normal, la circulation s'effectue périodiquement de la manière suivante :

Sous l'action du feu, il se forme dans la chaudière close une certaine quantité de vapeur dont la pression s'exerce sur l'eau qui lui a donné naissance et la refoule dans la surface chauffante.

La chaudière se vide jusqu'au moment où le flotteur se trouvant dénoyé, ouvre la soupape d'échappement. La vapeur se dégage dans l'atmosphère et la pression diminue dans la chaudière. Une partie de l'eau de la surface chauffante rentre dans le bouilleur, la soupape d'échappement se referme automatiquement et les phénomènes que nous avons indiqués se reproduisent.

1349. Appareil Chibout. — M. Chibout applique au chauffage par circulation d'eau un système présentant de l'analogie avec le précédent. Son appareil (fig. 755) se compose d'une chaudière C, communiquant avec un réservoir supérieur R installé en contre-bas d'un vase fermé V, auquel il est relié par un tuyau *t* pourvu d'un clapet de retenue *r*. Ce tuyau plonge jusque vers le bas du récipient R et débouche à la partie inférieure du vase V.

Le conduit D de distribution d'eau chaude part du fond du vase V, dessert les appareils de chauffage a, a_1, a_2..., vient se raccorder à la base de la chaudière C et est muni d'un clapet de retenue près de son point d'insertion sur cette dernière.

Enfin, le vase V porte une soupape de sûreté à obturation hydraulique, formée par un siphon renversé STX dont la branche S monte jusqu'au sommet du vase V, tandis que la branche X communique avec l'atmosphère. Près de sa courbure T la branche S du siphon s'élargit de manière à former un récipient d'une certaine capacité et pourvu d'un dispositif permettant de laisser échapper directement la vapeur lorsque la pression tend à dépasser la limite pour laquelle l'appareil a été construit. Vers l'extrémité de la branche X se trouve un second récipient formant réservoir de trop-plein et destiné à éviter les projections d'eau lorsque la pression varie brusquement dans le vase d'expansion.

Lorsqu'on chauffe la chaudière C, si le volume d'eau enfermé

entre les deux soupapes r et r_1 ne circule pas, ou si le feu est très violent, il se forme de la vapeur, qui s'accumule à la partie supérieure du récipient R jusqu'au moment où sa pression fait équilibre à celle qui existe dans le vase d'expansion, augmentée du poids de la colonne d'eau qui surmonte la soupape r et de celui de cette soupape. Dès que la tension de la vapeur dépasse cette limite, la soupape r se soulève et l'eau du récipient R est chassée dans le vase V tant que l'extrémité du tuyau t plonge dans le liquide.

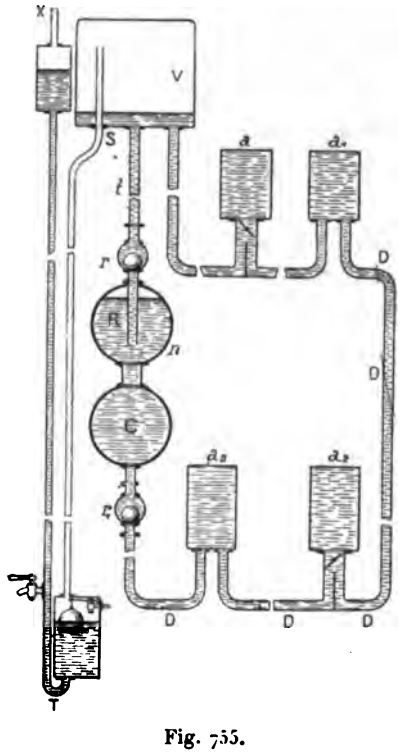


Fig. 755.

Dès que cette extrémité est dénoyée, la vapeur contenue dans le récipient s'échappe par le tuyau t, vient barbotter dans l'eau du vase d'expansion et la pression baisse dans la chaudière C et le récipient R.

Aussitôt que la pression agissant sur la soupape r_1 devient inférieure à celle que la colonne de retour D exerce sous cette même soupape, celle-ci se soulève, et de l'eau refroidie remplace dans la chaudière l'eau chaude qui passe dans le récipient R, refoule la vapeur qu'il renferme et peut même monter dans le vase d'expansion par le tube t.

Ce mouvement se continue jusqu'au moment où la différence des pressions dans la colonne froide et dans la colonne chaude ne peut plus maintenir soulevés les clapets r et r_1 qui retombent alors sur leur siège. La circulation se trouvant interrompue, l'eau de la chaudière s'échauffe de nouveau et, au bout d'un certain temps, la circulation se reproduit.

A chaque mise en train, l'eau du vase d'expansion V étant froide, la vapeur qui se dégage du récipient R se condense tant que la température de l'eau n'atteint pas un degré suffisamment élevé et il peut en résulter des vibrations et des bruits.

Ce phénomène ne se produit pas si l'eau du vase d'expansion se trouve suffisamment chauffée par l'émission d'eau chaude qui précède le dégagement de la vapeur ou si la circulation s'établit dans l'appareil sans qu'il y ait formation de vapeur; mais, dans ce cas, les soupapes sont plus nuisibles qu'utiles, puisqu'elles ont pour effet de réduire la charge motrice qui produit la circulation.

Afin de permettre de porter à plus de 100° C la température de l'eau dans le vase d'expansion, on ferme ce dernier et on le munit, comme nous l'avons déjà dit, d'un siphon renversé contenant de l'eau et formant soupape. Si les branches du siphon ont une longueur de 10 mètres, la pression intérieure dans le vase d'expansion peut atteindre 1 kilogramme et la température de l'eau 120°. On se trouve donc, en réalité, en présence d'un système de chauffage à eau sous pression.

On peut augmenter ainsi l'écart de température entre les canalisations de chauffage et les locaux chauffés et réduire, dans une certaine mesure, l'importance des surfaces chauffantes dans les salles.

Ce serait une erreur de croire que la pression de la vapeur qui remplit le vase d'expansion aide la circulation de l'eau, car elle est au plus égale à celle qui existe dans la chaudière; elle permet seulement d'augmenter la température de l'eau en circulation.

En fait, la pression dans le vase d'expansion V est toujours inférieure à celle qui existe dans le récipient R, et la résultante ou différence de ces deux pressions tend à s'opposer à la circulation de l'eau. Les deux soupapes r et r_1 nuisent aussi à la circulation, et on conçoit que, daus beaucoup de cas, il soit préférable d'éviter la complication d'installation résultant de l'addition de plongeurs et de soupapes qui risquent de ne pas fonctionner.

Afin d'éviter l'échappement de vapeur qui peut se produire par la base de la soupape hydraulique STX, lorsque la pression s'élève dans l'appareil, M. Chibout propose d'employer la vapeur du vase d'expansion à chauffer de l'eau pour desservir un certain nombre d'appareils de chauffage ou pour alimenter un service de bains.

1350. Circulation d'eau par entraînement au moyen d'un jet de vapeur. — A l'Exposition de Bruxelles en 1880 se trouvait exposé un système de circulation d'eau chaude pour le chauffage des wagons d'un train. L'eau du tender, entraînée dans un injecteur par un jet de vapeur vierge emprunté à la locomotive, parcourait un circuit formé de deux lignes de tuyaux : la première allant du tender à l'extrémité du train, et la seconde revenant du dernier wagon au tender. La vapeur lancée dans l'injecteur chauffait l'eau en se condensant et lui communiquait par entraînement la vitesse nécessaire.

1351. *M. Cuau aîné* a utilisé le même principe pour le chauffage des habitations.

L'injecteur qui produit le chauffage de l'eau et son mouvement dans les canalisations est alimenté de vapeur par un générateur voisin. Le volume d'eau contenu dans les tuyaux de chauffage augmente à chaque instant, tandis que celui que renferme le générateur diminue; mais, abstraction faite des pertes, le volume total reste constant.

D'après M. Cuau, on peut, au moyen d'un injecteur alimenté par de la vapeur fortement surchauffée, réintroduire dans la chaudière l'eau en excès et chaude reprise sur le tuyau de retour du chauffage et produire ainsi la vapeur aussi économiquement que possible.

Ce procédé de chauffage ne présente pas en réalité d'avantages sur les autres systèmes à eau chaude; comme il comporte une chaudière à vapeur fonctionnant à haute pression, il a l'inconvénient de ne pouvoir être conduit que par une personne habituée à ce genre d'appareils.

1352. Distribution d'eau chaude sous pression. — Une compagnie de chauffage a installé il y a quelques années, à

Boston, un système de distribution d'eau chaude portée à une température d'environ 200° qui était destiné à desservir un quartier de la ville.

L'eau chaude, prise dans les chaudières par une pompe, était refoulée dans une conduite principale de distribution de 102 mm. de diamètre. Cette conduite passait dans les rues de la ville dans un caniveau qui contenait également le tuyau de retour à la chaudière; de distance en distance, elle alimentait des branchements secondaires aboutissant à des distributeurs à trois directions, permettant chacun de desservir indépendamment trois maisons à la fois. Le diamètre des tubes faisant suite au distributeur variait de 7 à 20 mm., suivant l'importance des services.

L'eau chaude arrivant dans la maison pouvait être utilisée directement au chauffage ou bien se rendait dans un appareil appelé convertisseur où elle se vaporisait en partie à une pression convenable réglée par un détenteur et la vapeur obtenue était employée soit à la production de force motrice ou au chauffage, soit pour la cuisine ou des opérations chimiques, etc. L'eau refroidie ou celle qui ne s'était pas vaporisée était recueillie dans une conduite spéciale qui la ramenait dans le collecteur général des retours, constitué par un tuyau de 203 mm. de diamètre. De là, elle se rendait dans une bâche, d'où elle était reprise par une pompe qui la refoulait dans la chaudière.

Les tubes de retour s'étant corrodés très rapidement, la compagnie a cessé son service au mois de novembre 1889.

§ XI

CHAUFFAGE PAR LA VAPEUR.

1353. Considérations générales. — L'emploi de la vapeur d'eau pour le chauffage des édifices était tout indiqué, aussi bien en raison de la grande quantité de chaleur que ce fluide peut abandonner en repassant à l'état liquide, qu'à cause de la facilité avec laquelle on peut le transporter à des distances considérables, sans pertes exagérées de calories.

Aussi, depuis bien longtemps on a cherché à utiliser la vapeur dans ce but.

D'après Tredgold, l'idée en aurait été émise en Angleterre, vers 1745, et la première installation de chauffage par la vapeur aurait été réalisée en 1799, dans une filature.

A notre connaissance, le premier système de chauffage par la vapeur établi en France est celui du Palais de la Bourse de Paris, qui fut installé en 1828, sur l'avis d'une commission composée de Gay-Lussac, Thénard et Darcet.

Ph. Grouvelle père exécuta ensuite à la prison de Mazas un chauffage mixte (eau chauffée par serpentin de vapeur) qui fut mis en service en 1850 ; d'autres installations mixtes suivirent. Mais, jusqu'en 1872, le Palais de la Bourse était, croyons nous, le seul édifice, en France, qui fut réellement chauffé par la vapeur directe.

Cela tenait a ce qu'on ne savait pas distribuer la vapeur dont l'emploi, dans ces conditions, donnait lieu à des inconvénients graves ; en particulier, il se produisait des bruits intolérables, accompagnés de violentes secousses, qui détérioraient les joints, occasionnaient des fuites importantes et pouvaient même déterminer des ruptures. La répartition de la vapeur dans les divers appareils de chauffage était très irrégulière ; enfin, on redoutait les explosions.

L'emploi de la vapeur directe présentant, dans la plupart des cas, des avantages considérables, MM. Geneste et Herscher s'efforcèrent de remédier aux divers inconvénients qui l'avaient fait rejeter pour le chauffage des locaux d'habitation. Grâce à des perfectionnements successifs, ils parvinrent à réaliser de nombreuses installations très importantes (l'Hôtel de Ville et les nouveaux lycées de Paris, la Maison Départementale de Nanterre, le Palais de Justice de Bruxelles, etc.) (1).

Depuis lors, ils ont été suivis dans cette voie et la vapeur est

(1) Depuis quelques années, de nombreuses installations de chauffage à vapeur ont été effectuées à New-York, où une partie de la ville est chauffée par la vapeur que fournissent 65 chaudières, développant ensemble plus de 17 000 m² de surface de chauffe.

aujourd'hui considérée à juste titre comme le véhicule de chaleur à la fois le plus puissant et le plus souple dont on puisse disposer. Son emploi permet de répartir rationnellement les appareils de chauffage pour réchauffer directement les surfaces refroidissantes sans surchauffer l'air de ventilation, ce qui est si indispensable dans les locaux scolaires et dans les hôpitaux, par exemple; il permet aussi de transporter la chaleur pour ainsi dire à toutes distances et, couramment, à trois cents ou quatre cents mètres et plus; mieux qu'aucun autre agent, la vapeur se prête au réglage automatique de la température dans chaque enceinte en particulier et indépendamment des autres locaux desservis.

Enfin, le chauffage par la vapeur, bien établi, supprime toutes les chances d'incendie et présente, à tous les points de vue, toutes les garanties de sécurité désirables; il n'y a pas d'exemple qu'une installation de ce genre, exécutée par des constructeurs compétents, ait donné lieu au moindre accident, ni même seulement à des fuites dommageables.

1354. Disposition générale d'une installation de chauffage par la vapeur. — En principe, une installation de chauffage de ce genre comporte un ou plusieurs générateurs de vapeur; des appareils de chauffage constitués par des récipients de forme variable où la vapeur se condense en abandonnant sa chaleur latente de vaporisation; des canalisations à l'intérieur desquelles la vapeur circule pour se rendre aux surfaces chauffantes; d'autres dans lesquelles l'eau condensée retourne aux générateurs; enfin des appareils de réglage et de distribution, indispensables au bon fonctionnement.

Dans certains cas, les mêmes canalisations servent à la fois pour porter la vapeur aux surfaces chauffantes et pour en ramener l'eau condensée.

Lorsque la pression effective dans les canalisations ne dépasse guère un kilogramme et demi à deux kilogrammes, on dit que le chauffage est à basse pression; lorsque la tension de la vapeur est supérieure à cette valeur, on dit que le chauffage est à haute pression.

Le chauffage à basse pression est celui qui convient le mieux pour les locaux d'habitation.

Dans les bonnes installations de ce genre, la pression effective dans les appareils pendant la période des plus grands froids ne dépasse pas quelques hectogrammes.

Le chauffage à haute pression n'est guère admissible que dans les usines. Lorsqu'on a recours à ce procédé, les canalisations doivent être établies avec des soins particuliers et les joints très bien faits. De plus, il faut alors, autant que possible, proscrire l'emploi de la fonte, de crainte d'explosion.

Selon que l'eau condensée rentre directement des appareils de chauffage dans la chaudière ou bien qu'au contraire on la recueille d'abord dans un récipient pour la refouler ensuite dans le générateur, le système est dit, dans le premier cas, à *retour direct* et, dans le second, à *retour indirect*.

Dans le chauffage à *retour direct*, la force motrice qui produit la circulation de la vapeur est simplement due à la différence des pressions dans le générateur et dans les appareils de chauffage, différence qui résulte de la condensation de la vapeur dans ces appareils et n'est souvent par suite qu'assez faible. Dans le système à *retour indirect*, on peut disposer, pour faire mouvoir la vapeur, de toute la pression effective que possède celle-ci dans la chaudière; aussi ce système convient-il plus spécialement pour les édifices considérables où l'on doit pouvoir porter la vapeur à grande distance, tandis que le système à retour direct n'est généralement employé que pour des installations peu importantes. Nous nous occuperons d'abord du chauffage à retour indirect qui est le plus employé en France et en Europe.

1355. Chauffage avec retour indirect. — Anciennes dispositions. — La vapeur prise sur la chaudière A, monte dans le tuyau B et se distribue dans les embranchements CC (fig. 756).

Par les conduits EE, elle pénètre dans les poêles ou surfaces chauffantes DD ; l'eau condensée descend par les tuyaux HH tombe dans le collecteur L et revenait dans le récipient M communiquant avec l'air libre par la tubulure O.

L'eau rassemblée dans le récipient M est reprise par une

pompe P et refoulée dans la chaudière A où elle se vaporise à nouveau. La dépense d'eau est donc théoriquement nulle.

Dans la pratique, les choses ne se passent pas aussi simplement que nous venons de le dire. La vapeur, arrivant d'abord dans les premiers poêles D qu'elle échauffe, descend ensuite par les tuyaux H, et passe dans le tuyau L où elle établit une contre-pression. La pression de la vapeur à l'entrée des poêles étant d'autant moindre qu'ils sont plus distants de l'origine de la conduite, il arrive en général que, pour les derniers, la contre-pression dans le retour étant sensiblement égale à la pression à l'entrée, l'air qu'ils contiennent ne peut s'échapper et ces appareils, ne recevant pas de vapeur, ne s'échauffent pas.

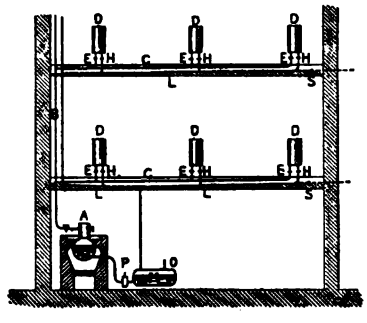


Fig. 756.

Pour évacuer cet air, on ouvre des robinets S, appelés souffleurs et disposés à l'extrémité des conduites L, prolongées à cet effet et débouchant à l'extérieur. Ces souffleurs doivent être ouverts à chaque mise en train et même de temps en temps pendant la durée du chauffage.

Fréquemment, pour s'éviter la peine de les manœuvrer, on les laisse constamment ouverts. On dépense alors en pure perte d'énormes quantités de vapeurs.

En outre du grave inconvénient que nous venons de signaler, la présence de la vapeur dans la conduite de retour donne lieu à des vibrations et même à des claquements parfois très violents, qui résultent de la condensation brusque de la vapeur au contact de l'eau refroidie s'écoulant dans le tuyau L. Ces bruits désagréables peuvent aussi provenir de la condensation de la vapeur au contact des poches d'eau froide qui séjournent dans les points bas de canalisations présentant des contre-pentes.

Parfois, ils cessent presque complètement, lorsque la marche normale est établie; mais ils se reproduisent à chaque mise en train de tout ou partie du système.

1356. Chauffage à vapeur à basse pression à retour indirect. — Système Geneste et Herscher. — La figure 757 représente la disposition schématique de ce système en supposant le cas du chauffage d'un Lycée, par exemple.

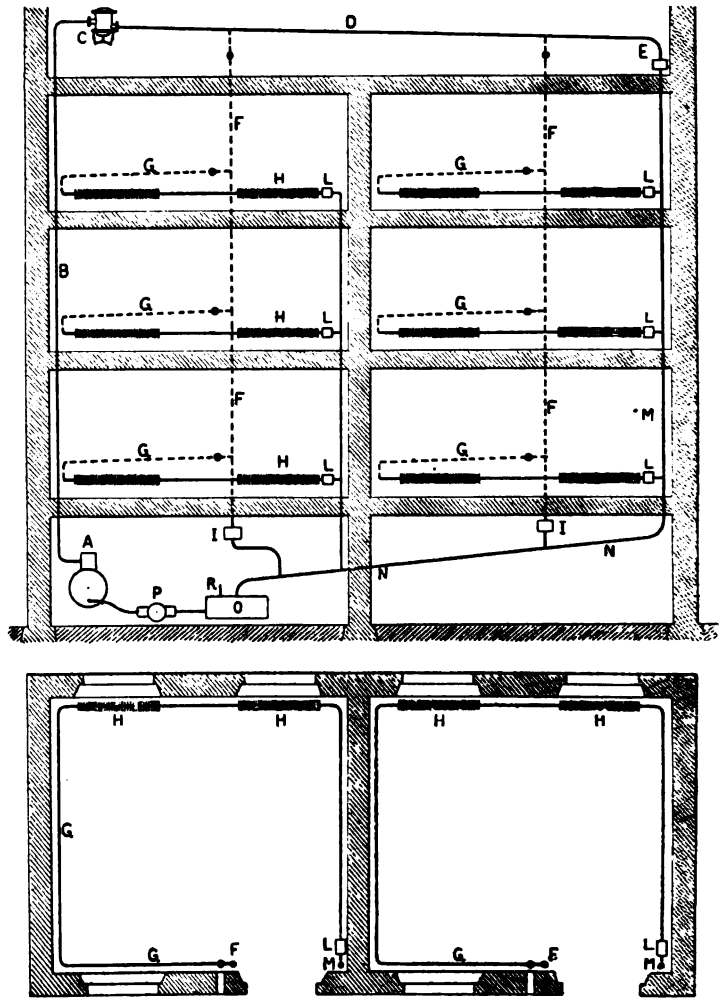


Fig. 757.

Une chaudière A établie en un point quelconque, mais de préférence en contre-bas de tous les appareils de chauffage, fournit la vapeur nécessaire.

Du sommet de cette chaudière part une colonne maîtresse montante B qui s'élève aussi directement que possible jusqu'en un point situé au-dessus de toutes les surfaces chauffantes, à desservir et où se trouve disposé un régulateur de pression C. A partir de cet organe, la conduite principale de distribution de vapeur D descend en pente douce jusqu'en E, où est placé un purgeur permettant à l'air et à l'eau de condensation mais non à la vapeur de passer dans le tuyau de retour MN qui débouche dans une bâche O. Tout le long de cette conduite D sont branchés, aux points convenables, des tuyaux secondaires de distribution FF, munis à leur partie inférieure de purgeurs d'air et d'eau de condensation I; enfin sur les conduites FF sont piqués les tuyaux GG munis de robinets de réglage et desservant les batteries chauffantes H des locaux à desservir. A la suite de chacune de ces batteries se trouve placé un organe spécial L dit purgeur d'air et d'eau, qui débouche dans un tuyau vertical communiquant avec le retour principal MNN.

Le purgeur d'air et d'eau a pour but de retenir la vapeur dans la batterie chauffante tout en laissant passer l'eau de condensation dans les retours. Il permet également d'expulser, à la mise en marche, l'air que contiennent la conduite G et la batterie correspondante.

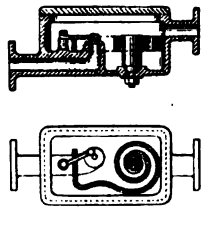


Fig. 758.

Il se compose (fig. 758), d'une boîte en fonte munie de deux tubulures, qui la mettent en relation, l'une avec les surfaces chauffantes et l'autre avec les canalisations de retour d'eau condensée.

Cette seconde tubulure débouche sous une glace percée d'un petit orifice et sur laquelle se déplace un tiroir conduit par l'extrémité libre d'une spirale, fixée en son centre, et formée d'une lame de cuivre intimement soudée avec une lame d'acier. A froid, le tiroir découvre complètement l'orifice d'entrée de la seconde tubulure; mais, lorsque la spirale s'échauffe, elle se déforme et sa branche libre entraîne le tiroir, de manière que celui-ci recouvre de plus en plus l'orifice percé dans la glace.

On règle l'appareil de telle sorte qu'il soit complètement ouvert à froid, et entièrement fermé à 100°; dans ces conditions, le purgeur laissera passer l'air et l'eau de condensation, mais retiendra la vapeur, dont la température est supérieure à 100°.

Le système de chauffage fonctionne de la manière suivante :

La vapeur provenant de la chaudière A monte jusqu'au régulateur détendeur C, qui a pour but de maintenir une pression constante dans les conduites de distribution de vapeur malgré les variations d'intensité du feu. Cet appareil permet donc une certaine stabilité de marche sans qu'il soit besoin de pourvoir les chaudières d'un vaste réservoir de vapeur et d'eau, ce que les considérations d'emplacement et de catégorie rendraient souvent impossible à réaliser.

A partir du point C, les conduites de distribution vont constamment en descendant, de telle sorte que la vapeur et l'eau de condensation y cheminent toujours dans le même sens.

C'est une condition indispensable pour éviter d'une façon certaine et absolue les bruits si gênants et les chocs si préjudiciables à la conservation des appareils qui se produisent dans les installations mal étudiées et qui ont tant contribué à jeter autrefois la défaveur et la défiance sur le chauffage par la vapeur.

La vapeur remplit ainsi toutes les conduites de distribution; lors donc qu'on ouvrira un robinet, elle pénétrera dans la batterie correspondante, en refoulant devant elle l'air et l'eau de condensation qui traverseront le purgeur. Celui-ci restera ouvert jusqu'à ce qu'il soit en contact avec la vapeur ; à ce moment la spirale bi-métallique s'échauffant fermera l'orifice de sortie du purgeur.

Au fur et à mesure que de la condensation dans la batterie chauffante, l'eau produite s'écoulera par le purgeur, mais jamais celui-ci ne donnera passage à la vapeur. Les retours peuvent alors être mis en communication avec l'atmosphère et il n'y a plus ici à craindre les contre-pressions qui s'opposent à la mise en marche des appareils et occasionnent des claquements. Chaque batterie est absolument indépendante des autres ; en fermant un robinet on suspend d'une façon certaine l'arrivée de

vapeur, il suffit ensuite de le rouvrir, à n'importe quel moment, pour remettre la batterie en service, la vapeur y pénétrant de nouveau comme nous venons de l'expliquer.

Pour qu'une installation établie d'après ce système donne toute satisfaction, tant sous le point de vue de la commodité que sous celui de la sécurité, les divers éléments qui la constituent doivent satisfaire à certaines conditions, dans le détail desquelles nous allons entrer.

1° *Chaudières.* — Les chaudières doivent, le plus souvent, pouvoir être classées dans la troisième catégorie ; il est évident d'ailleurs qu'elles doivent présenter toutes les garanties possibles contre les explosions ; enfin, comme on ne dispose généralement que d'un emplacement restreint pour les loger, il faut qu'elles soient aussi peu encombrantes que possible.

Pour ces diverses raisons on est conduit à recourir à des générateurs dits « multitubulaires » dont nous avons décrit de nombreux types. Pour simplifier le service, obtenir une fumivorité à peu près complète, uniformiser la marche, réaliser des économies de combustible, il y a intérêt à munir ces appareils de foyers spéciaux à alimentation continue. Enfin, il est utile d'avoir des régulateurs d'alimentation d'eau pour éviter les variations de pression qui se produisent quand on alimente par intermittence. L'alimentation se fait au moyen de pompes ou de bouteilles.

2° *Canalisations de vapeur.* — Les diverses canalisations de vapeur sont constituées par des tubes en fer étiré ; l'épaisseur de leurs parois est suffisante pour résister à une pression très notablement supérieure à celle qui correspond à la marche normale. Ces tuyaux sont assemblés les uns au bout des autres par des joints manchonnés, munis de deux contre-écrous et qui ont l'avantage d'être d'une étanchéité absolue tout en restant facilement démontables.

Dans certains cas même, lorsqu'on veut être sûr de l'étanchéité parfaite des canalisations, on intercale une rondelle de cuivre rouge entre les extrémités des tuyaux à réunir, taillées en biseau et filetées en sens contraire.

En engageant ces extrémités dans un manchon taraudé moitié à droite et moitié à gauche, on peut faire pénétrer les deux biseaux dans la bague de cuivre et obtenir ainsi un joint tout à fait hermétique et d'une durée indéfinie.

De distance en distance, les canalisations doivent être pourvues d'appareils compensateurs de dilatation, dont nous avons donné plusieurs types. Tant que le diamètre des tuyaux n'est pas excessif, la meilleure manière de permettre les dilatations consiste à ménager, tous les 20 à 25 mètres, des parties cintrées qui peuvent se déformer légèrement et donnent une certaine élasticité à l'ensemble.

3° *Canalisations de retour d'eau.* — Comme toute pression est exclue dans ces canalisations, on peut généralement les constituer par des tuyaux en fonte portés sur des rouleaux. Dans certains cas, lorsqu'elles sont exposées à des chocs, il est prudent de les établir comme celles de vapeur.

4° *Batteries chauffantes.* — Les batteries chauffantes sont formées de tuyaux en fonte (fig. 759-760) ou en fer, munis d'ailettes, ce qui permet de concentrer sous un petit volume une grande surface chauffante; nous avons déjà signalé les avantages de ces tuyaux. Établies dans ces conditions, les batteries chauffantes peuvent être, s'il y a lieu, rationnellement réparties

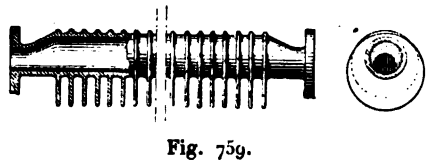


Fig. 759.

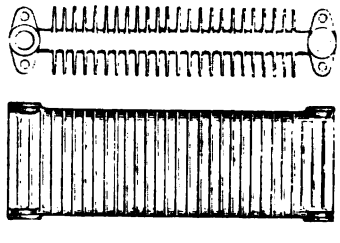


Fig. 760.

tout le long des surfaces de refroidissement. Ces batteries peuvent également être placées en sous-sol, quand on juge nécessaire d'adopter cette disposition malgré ses inconvénients.

Réglage de la température. — Avec ce système, le réglage de la température est facile, soit qu'on fasse usage d'appareils spéciaux maintenant automatiquement constante la tem-

pérature de chaque salle, soit qu'on se contente, et c'est pratiquement suffisant dans beaucoup de cas, de disposer dans chaque salle un thermomètre visible du dehors et un robinet qu'on puisse manœuvrer sans pénétrer dans la salle en question. Le chauffeur en faisant ses tournées peut alors très facilement effectuer le réglage en manœuvrant les robinets.

Nous ferons ici remarquer que, quel que soit celui de ces deux procédés qu'on emploie, on s'attache toujours à régler la température *dans chaque local en particulier*, de manière à conserver l'indépendance absolue des diverses salles à desservir. Le réglage central, en se basant sur une salle-type, présente au contraire l'inconvénient de rendre les locaux solidaires.

1357. On trouve, en Allemagne et en Autriche surtout, un certain nombre d'installations effectuées comme l'indique

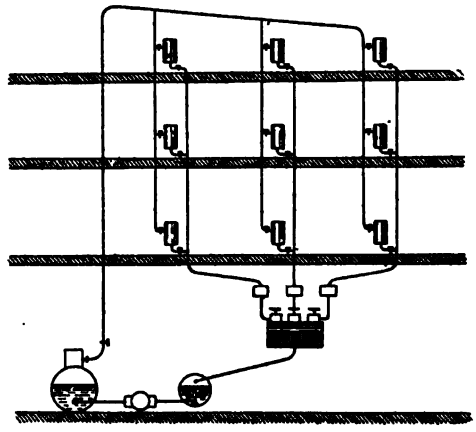


Fig. 761.

schématiquement la figure 761. Les appareils de chauffage sont répartis en un certain nombre de groupes, desservis chacun par une conduite de distribution de vapeur et un tuyau de retour d'eau condensée muni à sa base d'un purgeur. Les appareils de chauffage sont placés en dérivation entre la conduite de vapeur et celle de retour d'eau et sont munis de deux robinets. On voit que, lorsque les appareils sont en fonctionnement, la vapeur doit envahir les retours

et donner lieu aux inconvénients que nous avons signalés.

1358. Chauffage à vapeur, à basse pression, système Grouvelle. — Ce système, que M. Grouvelle applique depuis plusieurs années, comporte les éléments essentiels que

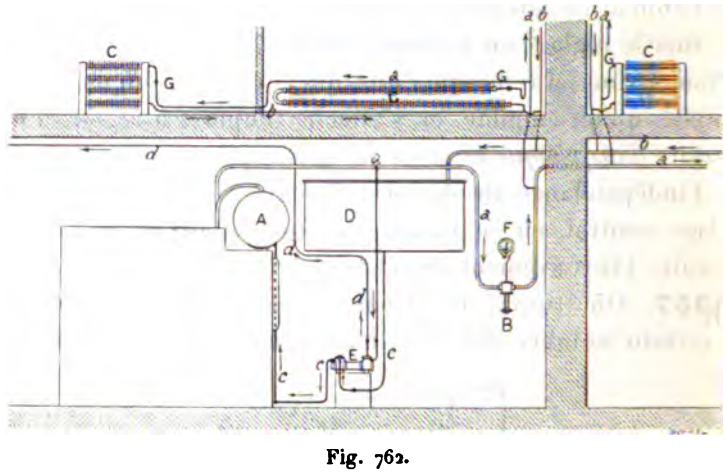


Fig. 762.

nous avons déjà indiqués et sa disposition générale (fig. 762) ne présente au premier aspect rien de particulier. Les chaudières sont le plus souvent multitubulaires ; les conduites de distribution de vapeur sont en fer étiré ; on fait en fonte, ou

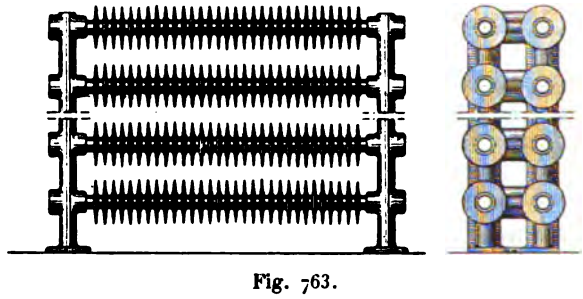


Fig. 763.

quelquefois en fer, celles de retour d'eau ; enfin, les appareils de chauffage sont généralement constitués par des batteries de tuyaux en fer (fig. 763) munis d'ailettes en fonte rapportées et fixées au moyen d'un mastic de fonte. Mais, ce qui caractérise le système, c'est le mode de distribution de la vapeur

dans les appareils de chauffage. M. Grouvelle, en effet, au lieu de placer à la sortie des batteries chauffantes des purgeurs laissant passer dans les retours l'air et l'eau mais retenant la vapeur, place à l'entrée de chacune d'elles un diaphragme percé d'un petit orifice. La section de cet orifice est invariable et déterminée par une série d'essais, de manière à permettre, avec une pression maxima de 2 kilogrammes, par exemple, dans les conduites, de laisser passer dans la surface chauffante correspondante le poids de vapeur nécessaire pour assurer le chauffage pendant les plus grands froids. Dans ces conditions, pour maintenir dans les locaux une température sensiblement constante, il faut pouvoir faire varier la pression en amont du diaphragme de manière à ce qu'il ne laisse à chaque instant passer dans la batterie de chauffe correspondante que la quantité de vapeur qu'il est nécessaire d'y condenser pour réparer les déperditions. On dispose pour cela, en tête des canalisations de distribution de vapeur, un régulateur de pression qui peut être actionné soit à la main, soit automatiquement.

Le diaphragme est contenu dans une pièce spéciale, dite jauge (fig. 764), composée de deux robinets consécutifs ; le premier est un robinet d'arrêt ordinaire à clé renversée et peut être manœuvré au moyen d'une poignée ; la clé du second est échancrée pour recevoir le diaphragme ; elle est recouverte d'un chapeau vissé qui permet d'y accéder en cas de besoin, soit qu'on veuille la retirer pour modifier la section du diaphragme, soit qu'on veuille la tourner, pour ouvrir momentanément à la vapeur un large passage, lorsque cela est nécessaire. Le réglage automatique de la pression, pour obtenir à chaque instant l'écoulement en quantité convenable de la vapeur à travers les diaphragmes, s'effectue de la manière suivante :

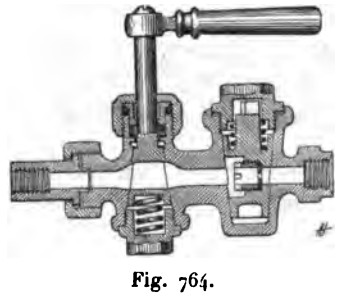


Fig. 764.

Dans l'une des enceintes à desservir, qu'on désigne sous le nom de salle-type, on installe un thermomètre analogue à celui des étuves de d'Arsonval, et qui, selon les variations de la température, modifie le débit d'une conduite de gaz. Celle-ci alimente un brûleur placé à la base d'un tube creux assez long, relié par un système de leviers et de bielles à la clé du distributeur de la vapeur dans les conduites (fig. 765).

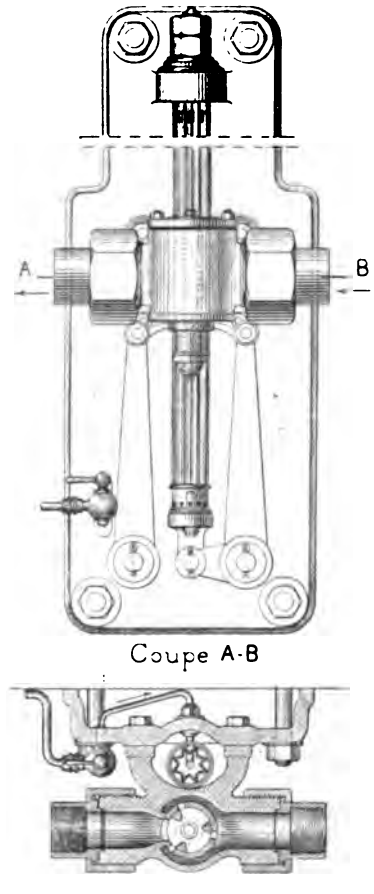


Fig. 765.

Suivant qu'elle s'allonge ou qu'elle se raccourcit, sous l'influence des variations de débit de la conduite, la flamme du brûleur chauffe plus ou moins le tube, qui augmente ou diminue de longueur, et, par l'intermédiaire des leviers et des bielles, agit sur le robinet distributeur de vapeur.

A mesure que la température augmente dans la salle-type, le robinet distributeur de vapeur se ferme de plus en plus; la pression dans les conduites de distribution diminue en conséquence et, par suite aussi, l'introduction de vapeur dans les batteries chauffantes; quand, au contraire, la température s'abaisse, le robinet s'ouvre de plus en plus, la pression dans les conduites augmente, et, avec elle, l'écoulement de vapeur à travers les jauges.

La conduite de gaz doit être munie d'un régulateur de pression, car, pour les valeurs extrêmes entre lesquelles on veut maintenir la température, le robinet du distributeur doit être

ouvert en grand ou fermé; le tube creux doit donc avoir une longueur déterminée et, par suite, la flamme une intensité donnée. Il semble même nécessaire que la composition chimique du gaz ne varie pas trop.

Le tube est très mince ce qui le rend très sensible aux variations d'intensité de la flamme ; pour empêcher sa déformation, on lui donne une section étoilée et on ne le fait travailler qu'à la traction.

Les dépenses de vapeur par les orifices des divers diaphragmes, étant liées à la pression par une même loi, restent proportionnelles à la section de ceux-ci, quelle que soit la pression dans les conduites de distribution. Si donc les orifices des diaphragmes des jauges alimentant de vapeur les surfaces chauffantes placées dans divers locaux ont des sections proportionnelles aux déperditions calorifiques de ces salles, les poids de vapeur distribués dans chacune d'elles étant eux-mêmes proportionnels à ces déperditions, les différentes enceintes conserveront toujours une température commune, quelle que soit la température extérieure. Un seul thermomètre, placé dans une salle-type et faisant varier la pression dans les conduites, comme nous l'avons expliqué, suffira donc, théoriquement, pour maintenir dans un nombre quelconque de locaux une température constante.

En pratique, il n'en est pas tout à fait ainsi, attendu que les diverses salles d'un même édifice ne sont pour ainsi dire jamais dans des conditions identiques au point de vue du refroidissement.

Si, par exemple, une salle vient à être refroidie par l'ouverture un peu prolongée d'une porte ou d'une fenêtre, il sera impossible de ramener sa température au même degré que celle des salles voisines. A fortiori, en sera-t-il de même si cette salle est mise en service après la mise en marche de l'ensemble. Quand la salle-type se trouvera momentanément soumise à un refroidissement plus énergique que les autres, (si par exemple un carreau vient à y être cassé), la température dans celles-ci sera exagérée et d'autant plus que la salle-type aura été plus refroidie.

Si, au contraire, cette salle est soumise à une cause accidentelle de réchauffement, la température ira en s'abaissant dans les autres.

D'ailleurs, même en théorie, le réglage au moyen d'un thermomètre unique, placé dans une salle-type, ne convient plus lorsque la température à conserver n'est pas la même pour toutes les salles.

Si on veut, par exemple, maintenir 20° dans une salle et 15° dans une autre, les quantités de chaleur à y fournir pour des températures extérieures de — 15° et de + 10° seront pour la première 35 Q et 10 Q et, pour la seconde, 30 Q' et 5 Q' (Q et Q' étant les déperditions correspondant pour chacune des salles à un écart d'un degré entre les températures intérieure et extérieure). Les quantités de chaleur à fournir varieront donc, dans le premier cas, du simple au triple, et, dans le second, du simple au sextuple et nous avons vu que les débits des jauges restaient toujours proportionnels, quelle que soit la pression dans les conduits. On ne pourra donc plus donner dans chaque enceinte la température imposée.

Aussi nous pensons qu'il est préférable de placer dans chaque local un régulateur spécial de température.

Il convient de remarquer que la suppression des purgeurs n'est pas sans présenter d'inconvénients.

En effet, les batteries chauffantes débouchant alors directement dans les retours, qui sont eux-mêmes en communication avec l'atmosphère, la température de la vapeur dans ces batteries est, au maximum, de 100°; il en résulte qu'on ne peut pas, lorsque surviennent des journées exceptionnellement froides, augmenter momentanément la puissance de chauffe des batteries, en élevant la pression et, par suite, la température de la vapeur qu'elles renferment.

Les surfaces chauffantes doivent donc, dans ce système, être calculées en se basant sur les plus basses températures qui puissent persister pendant quelque temps. Ainsi, à Paris, il faudrait calculer la surface des batteries en partant d'une température de — 15° à — 20° alors qu'en général il suffit de partir de — 7° seulement.

On voit qu'on est ainsi conduit à adopter des surfaces d'une importance plus considérable qu'il n'est nécessaire.

Il y a du reste pour cela encore une autre raison ; en effet, lorsque, comme cela peut se produire à la mise en train, par exemple, on envoie dans les batteries plus de vapeur qu'elles n'en peuvent condenser, celle-ci se répand dans les retours et donne lieu à des contrepressions et à des claquements.

Pour éviter cet inconvénient on est amené à exagérer l'importance des surfaces chauffantes, afin de tâcher de toujours condenser toute la vapeur débitée par la jauge, même lorsqu'à certains moments on a besoin de pousser vigoureusement les appareils.

Les deux systèmes de chauffage à vapeur à retour indirect que nous venons de décrire conviennent surtout pour les bâtiments importants.

Quand on applique le chauffage par la vapeur dans des édifices peu importants ou dans les habitations, ce qui se fait beaucoup en Amérique, on préfère souvent recourir aux systèmes à retour direct.

1359. Chauffage à vapeur à basse pression, à retour direct. — Les divers systèmes employés peuvent se ramener à quatre types principaux :

1° On établit un tuyau unique allant en rampe continue du sommet de la chaudière jusqu'aux surfaces chauffantes disposées dans les enceintes à desservir. Ce tuyau doit alors être de diamètre suffisant pour laisser circuler en même temps et en sens contraire la vapeur qui se rend aux poêles et l'eau condensée qui redescend à la chaudière (fig. 766).

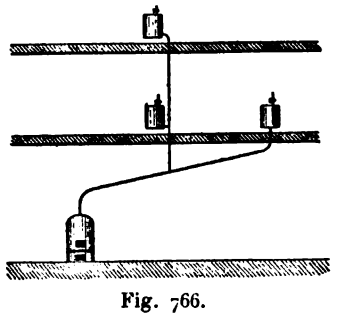


Fig. 766.

Ce système est assez peu employé, il ne convient que pour de petites installations et donne lieu à des bruits à la mise en train et souvent même pendant la marche.

2° Le second procédé consiste à établir un tuyau partant du sommet de la chaudière et montant le plus directement possible au point le plus élevé de la canalisation de chauffage. Celle-ci se développe en pente continue dans les locaux à chauffer et se raccorde avec un tuyau également en pente qui ramène l'eau condensée à la chaudière.

La figure 767 représente une installation réalisée de cette

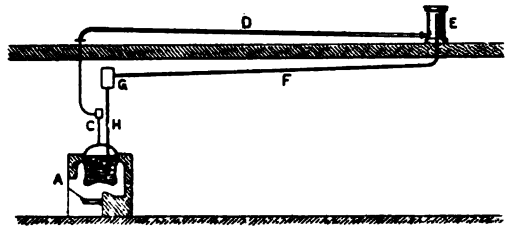


Fig. 767.

façon en Angleterre, en 1821, pour le chauffage d'une église : A, fourneau; B, chaudière en tombeau; C, prise de vapeur; D, canalisation de chauffage; E, poêle ou surface chauffante à vapeur; F, tuyau de retour d'eau; G, récipient ouvert à l'air libre et recevant l'eau condensée; H, tuyau d'alimentation plongeant dans la chaudière. Ce tube sert à la fois de soupape de sûreté et de manomètre.

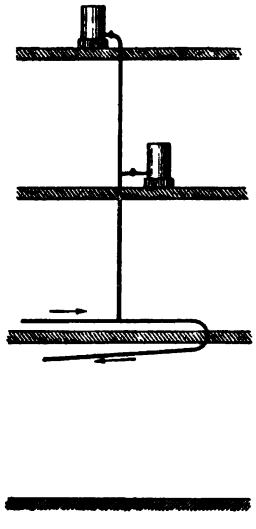


Fig. 768.

Dans ces conditions, la circulation de la vapeur et de l'eau condensée s'effectue rationnellement, et le chauffage n'occasionne ni bruits ni claquements. Ce système convient bien pour les installations dans lesquelles on veut employer de la vapeur à très basse pression. Mais à cause de cela, il exige des canalisations de diamètres assez considérables, afin de réduire le plus possible les pertes de charge et de permettre à la vapeur d'arriver aux appareils éloignés de la chaudière.

3° On combine quelquefois ensemble les deux systèmes précédents en greffant sur le tuyau principal de distribution de la disposition n° 2 des embranchements simples qui servent à la fois pour porter la vapeur aux surfaces chauffantes et pour ramener l'eau condensée dans la conduite principale. Cette disposition (fig. 768) est économique d'installation puisqu'elle permet de supprimer une partie des canalisations de retour d'eau, mais elle ne paraît pas devoir être recommandée, car elle présente les inconvénients du système n° 1 dans lequel l'eau et la vapeur circulent en sens contraire dans un même tuyau.

4° Les embranchements desservant les surfaces chauffantes placées aux divers étages sont greffés sur la conduite principale de distribution et l'eau condensée dans chaque surface

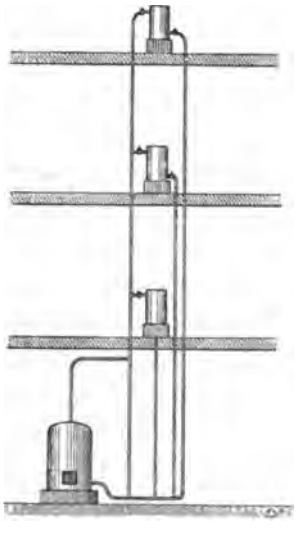


Fig. 769.

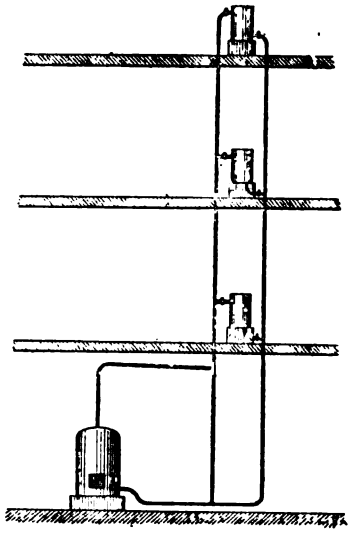


Fig. 770.

s'écoule par une conduite spéciale branchée sur le tuyau général de retour d'eau qui est alors situé en contre-bas du niveau de l'eau dans la chaudière (fig. 769).

Ce système doit toujours être préféré, son fonctionnement ne donne lieu à aucun bruit et les appareils de chauffage restent indépendants l'un de l'autre.

Variante. — Lorsqu'on est obligé de réduire les dépenses de premier établissement, on emploie la disposition n° 5 (fig. 770), dans laquelle le retour de l'eau condensée des surfaces chauffantes superposées s'effectue dans un tuyau unique branché sur la conduite générale de retour d'eau. Cette disposition, qui a été employée même dans de grands édifices, peut occasionner des bruits à la mise en train des appareils.

Les systèmes 1, 2 et 3 ne sont jamais employés qu'à basse pression et donnent de bons résultats quand l'installation est faite avec des tuyaux de gros diamètre. Mais ils ne peuvent être utilisés dans des installations étendues et complexes.

Toutes les dispositions que nous venons d'indiquer sauf les systèmes n°s 2 et 4 donnent lieu à des bruits à la mise en train.

Des précautions spéciales doivent être prises pour assurer l'évacuation de l'air des conduites. Cette évacuation peut être obtenue soit par une manœuvre de robinets, soit automatiquement, au moyen d'appareils spéciaux désignés sous le nom de purgeurs d'air que nous décrirons plus loin (1365).

1360. Chauffage à retour direct et à surfaces chauffantes variables. — Ce système, proposé par MM. Kœrting frères est une variante des dispositions n° 2 et 5 et n'est applicable qu'avec de la vapeur à basse pression; il comporte : un foyer à chargement continu et à réserve de combustible; un tuyau B de distribution de vapeur montant directement dans les combles; des surfaces chauffantes C, en tête de chacune desquelles se trouve un robinet d'arrêt v; des tuyaux de retour D partant du bas des surfaces C et débouchant à la base E d'un récipient T, d'une capacité égale à celles de toutes les surfaces chauffantes d'un même étage qui communiquent avec lui. Ce récipient T est placé à un niveau légèrement plus élevé que les surfaces C, de telle façon que celles-ci se remplissent d'eau pendant les arrêts du chauffage. Il est, à son sommet, ouvert à l'air libre et pourvu d'un trop-plein servant à écouler l'eau en excès.

Celle-ci descend dans un tuyau de retour G et revient directement à la chaudière. Des robinets de vidange v et v' sont disposés pour vider au besoin les poêles C et les réservoirs T.

L'appareil représenté (fig. 771) est supposé en marche normale, la vapeur venant de la chaudière se condense en partie dans le poêle et l'eau condensée s'écoule par le trop-plein T et retourne à la chaudière. Cette dernière est pourvue d'un régulateur automatique de tirage que nous décrirons plus loin (**1365**) et elle est munie d'un manomètre à eau M qui fait l'office de soupape de sûreté.

En faisant varier la pression dans les surfaces chauffantes, on peut abaisser plus ou moins le niveau de l'eau qu'elles renferment, et, par suite, faire varier leur surface de chauffe et la chaleur émise.

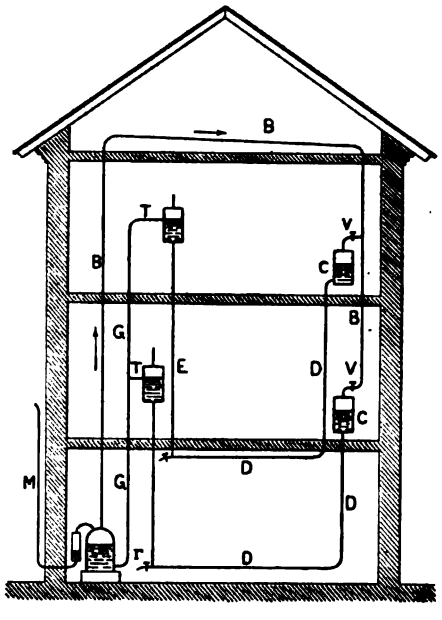


Fig. 771.

Ce système présente cet inconvénient que, les appareils et une partie des canalisations restant pleins d'eau pendant les arrêts sont exposés à geler et à se rompre. Si on les vidait chaque fois que le service doit être suspendu, il faudrait à chaque remise en train, purger d'air les surfaces chauffantes, car ce système ne comporte pas de purgeur automatique. En outre, il se produirait des projections d'eau, des soubresauts et des échappements de vapeur à tout instant pendant la mise en train, chaque fois que la pression tendrait à augmenter dans la chaudière et ces inconvénients pourraient se continuer tant que la colonne d'eau emmagasinée allant du poêle C au réservoir F n'aurait pas une hauteur supérieure à celle qui correspond à la pression maxima de la vapeur dans le générateur.

1361. Les divers systèmes de chauffage à vapeur à retour direct étant, en général, appliqués dans les habitations privées

ou dans des édifices relativement peu importants, leur surveillance est presque toujours confiée à des hommes inexpérimentés, tels que des domestiques, des hommes de peine, etc. Pour rendre possible l'emploi du chauffage à vapeur dans de telles conditions, il a fallu simplifier le plus possible le fonctionnement des appareils et borner tout le service au chargement du foyer, à des intervalles assez éloignés. Nous allons faire connaître les différents éléments d'un de ces systèmes de chauffage à vapeur, et indiquer en même temps, les dispositifs auxquels on a recours pour simplifier le service du chauffeur.

1362. Chaudières. — On peut employer presque tous les systèmes de générateurs que nous avons décrits dans le chapitre relatif aux chaudières à vapeur (**675** et suivants).

L'emploi des chaudières tubulaires est assez indiqué, car les inconvénients qu'elles présentent dans certains cas et qui résultent de l'impossibilité d'extraire les incrustations, disparaissent ici, ou du moins sont très atténués, puisque, en général, on vaporise toujours la même eau et qu'on n'ajoute que très peu d'eau nouvelle dans la chaudière.

En Amérique, lorsqu'il s'agit d'installations de chauffage de moyenne importance, on emploie souvent des chaudières tubulaires horizontales, à foyer intérieur ou extérieur. Ces chaudières, comme nous l'avons vu, présentent une grande surface de chauffe sous un volume relativement faible et ont une capacité beaucoup moins grande que les chaudières à bouilleurs. Elles peuvent être rapidement chauffées et utilisent convenablement la chaleur dégagée par le combustible. La figure 772 représente un type de chaudière à foyer extérieur qui est fréquemment employé.

Pour les petites installations de chauffage, on emploie des chaudières verticales, à foyer intérieur et à faisceau tubulaire qui sont peu encombrantes, ne contiennent qu'un faible volume d'eau, sont rapidement mises en service et sont suffisamment économiques. On dispose ces chaudières de façon que leur marche soit automatiquement réglée et que l'alimentation de leur grille soit continue. La personne chargée de la

conduite du chauffage remplit de combustible une ou deux fois par jour la trémie qui alimente la grille.

La figure 773 représente un de ces générateurs composé d'une chaudière verticale à foyer intérieur avec trémie de chargement et à deux faisceaux tubulaires concentriques. Le faisceau qui entoure la trémie sert au passage des gaz qui sortent directement du foyer et se rendent dans la boîte à fumée disposée au sommet de la chaudière. De là, les gaz chauds redescendent par le second faisceau tubulaire, remontent autour de la paroi extérieure de la chaudière et s'écoulent par la cheminée. Quelquefois, cette dernière circulation n'existe pas et la fumée est évacuée à sa sortie du deuxième faisceau tubulaire.

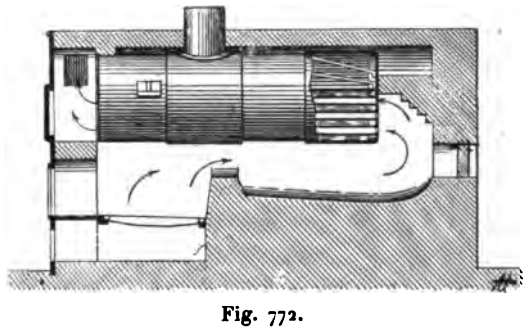


Fig. 772.

Nous donnons, d'après M. Baldwin, la vue d'une chaudière munie de tous ses accessoires, telle qu'on les établit en Amérique pour les chauffages à retour direct à basse pression (fig. 773).

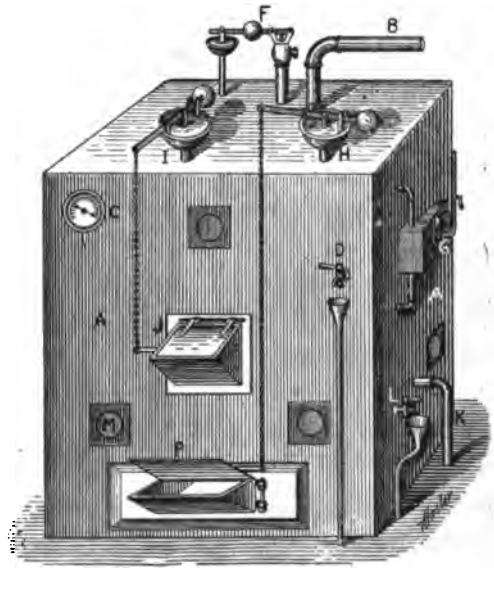


Fig. 773.

A Enveloppe en maçonnerie.

B Tuyau de distribution de vapeur.
C Manomètre.
D Robinet de jauge.
F Soupape de sûreté.
G Régulateur d'alimentation d'eau nouvelle.
H Régulateur de tirage, agissant sur la porte P du cendrier.
I Régulateur agissant sur la porte J du foyer.
K Retour d'eau condensée.
L Robinet de vidange.
M M Tampons de ramonage.
N Tampon d'accès à la boîte à fumée supérieure.

On remarquera que la disposition figurée ne comporte pas de niveau d'eau à tube de verre, ni de clapet de retenue sur le tuyau K et que pour répondre au règlement en vigueur en France, il faudrait ajouter ces accessoires ainsi qu'une seconde soupape de sûreté et deux autres robinets de jauge D.

Dans les installations du chauffage à vapeur établies dans des habitations, il faut que la chaudière puisse être confiée pour ainsi dire au premier venu. Il est donc nécessaire de la pourvoir d'appareils spéciaux destinés à empêcher automatiquement la vapeur de jamais dépasser une limite déterminée généralement inférieure à 1 kilogramme effectif. En général, on agit d'abord sur le registre d'admission d'air sous la grille afin de faire varier l'intensité de la combustion, puis, si cela ne suffit pas, on fait ouvrir soit la porte du foyer, pour introduire de l'air froid dans le fourneau, soit un registre donnant à l'air extérieur un accès direct dans la cheminée, ce qui coupe le tirage.

Enfin, si ces moyens restent insuffisants, les soupapes de sûreté doivent s'ouvrir et permettre l'évacuation de la vapeur en excès, jusqu'au moment où la pression est revenue à sa limite normale. L'ouverture des soupapes donnant lieu à une perte de vapeur, ces appareils doivent être établis pour ne fonctionner que dans le cas où tous les autres moyens sont restés impuissants et n'ont pu empêcher l'exagération de la pression dans la chaudière.

1363. Régulateurs d'admission d'air. — Ces appareils

règlent l'admission de l'air sous la grille, par la manœuvre automatique de la porte du cendrier qui se ferme ou s'ouvre plus ou moins suivant que la pression est plus ou moins élevée dans la chaudière. On emploie fréquemment un régulateur dans lequel on utilise le soulèvement ou l'abaissement d'une membrane en caoutchouc soumise d'un côté à la pression de la vapeur de la chaudière et de l'autre à la pression exercée par un disque surmonté d'une tige à fourche. Celle-ci supporte l'axe d'oscillation d'un levier dont une extrémité est reliée par une chaîne à la porte du cendrier (fig. 774).

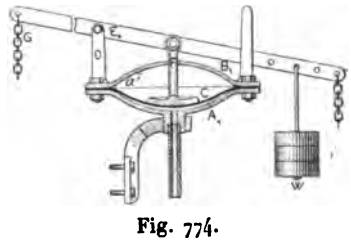


Fig. 774.

Dans les chaudières à haute pression, on remplace la membrane en caoutchouc par un diaphragme métallique, dont on amplifie les mouvements par un système de leviers multiplicateurs. Les appareils servant à manœuvrer la porte du foyer ou le registre de tirage sont disposés d'une façon analogue.

Dans certains cas, la porte du cendrier de la chaudière reste fermée, sauf pour l'enlèvement des cendres, et on règle la pression dans la chaudière, en faisant varier l'ouverture de l'orifice d'admission d'air sous la grille.

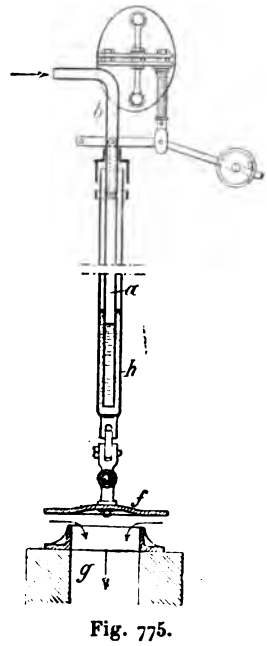


Fig. 775.

1364. Régulateur Bœchem et Fost. — Au lieu de l'appareil que nous venons d'indiquer on fait parfois usage du suivant (fig. 775) qui comporte deux tuyaux en fer verticaux et concentriques ; le tube intérieur *a*, ouvert aux deux bouts, est fixe, tandis que l'autre *h* est mobile et fermé à sa partie inférieure. Le premier communique par sa

partie supérieure avec le réservoir de vapeur de la chaudière de chauffage et reste ouvert à son extrémité inférieure. Le second est rempli de mercure jusqu'à une hauteur telle que l'extrémité inférieure du tube central fixe reste toujours plongée dans ce liquide.

Il est suspendu après un levier mobile à contrepoids qui lui fait équilibre et il porte à sa base un obturateur qui ferme plus ou moins l'orifice d'entrée d'air sous la grille.

Lorsque la pression augmente dans la chaudière, par suite d'un excès de vaporisation, la pression qui s'exerce sur la surface du mercure dans *a* fait refluer ce liquide dans le tube *b*, qui s'abaisse.

Le registre suit ce mouvement et réduit ou ferme même l'orifice de prise d'air de la grille. Quand la tension de la vapeur diminue, le mercure remonte dans le tube fixe et le tube mobile se relève; la prise d'air s'ouvre de nouveau et ainsi de suite.

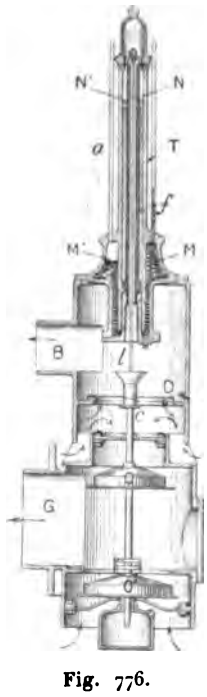


Fig. 776.

1365. Régulateur Kœrting. — Cet appareil représenté (fig. 776) comprend un récipient M'M contenant du mercure et relié par un tube *a* avec le dôme de vapeur de la chaudière. Le récipient M est prolongé par deux tuyaux verticaux concentriques T et N, laissant entre eux un réservoir annulaire où se trouve un flotteur *f* formé de rondelles de carton comprimé qui monte ou descend suivant les fluctuations du niveau du mercure. Au flotteur *f* est fixée une tige *l* passant dans le tuyau N et portant deux obturateurs OO' qui peuvent fermer les orifices de prise d'air du foyer. La tige *l* est munie d'un collier *c* qui soulève un disque D permettant d'envoyer de l'air extérieur au-dessus de la grille après que l'orifice d'amenée d'air du cendrier est fermé.

Cette introduction directe d'air dans le foyer se produit tant

que le disque D reste soulevé. Dès que la tension de la vapeur diminue, le niveau de mercure dans le réservoir annulaire s'abaisse et le flotteur descend. La tige *t* suit ce mouvement ; le disque D revient sur son siège et empêche l'arrivée d'air froid au-dessus de la couche de combustible ; puis les obturateurs s'ouvrent, l'air afflue de nouveau dans le cendrier sous la grille et la marche normale se rétablit.

1366. Soupapes de sûreté. — Il peut arriver que les dispositions précédentes soient impuissantes à empêcher l'élévation de la pression dans la chaudière. Dans ce cas une soupape de sûreté à grand débit doit pouvoir s'ouvrir. On dispose la soupape dans une enveloppe munie d'une tubulure d'échappement et pour modérer le feu on envoie dans le cendrier, sous la grille, la vapeur qui se dégage. La manœuvre de la soupape peut être obtenue par l'effet d'un diaphragme en caoutchouc analogue à ceux employés pour la commande des registres de prise d'air et sous lequel se transmet la pression de la chaudière (777).

Une autre disposition consiste à établir un manomètre à eau analogue à celui employé dans le chauffage Chibout (**1349**).

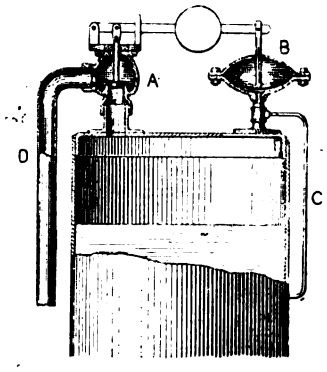


Fig. 777.

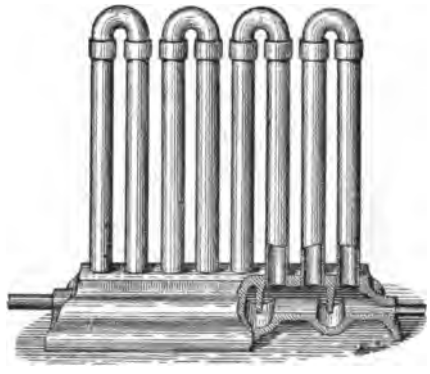


Fig. 778.

1367. Surfaces chauffantes. — Les surfaces chauffantes peuvent être les mêmes que celles qu'on emploie dans les systèmes à retour indirect dont nous avons parlé. Mais, en

Amérique on emploie de préférence des surfaces dites *radiateurs*, formées en général d'un socle en fonte pouvant recevoir de la vapeur et sur lequel sont vissés en nombre variable des tubes en fer réunis deux à deux par des coudes (778). Souvent les tubes restent isolés et sont tous fermés à leur extrémité supérieure (779).

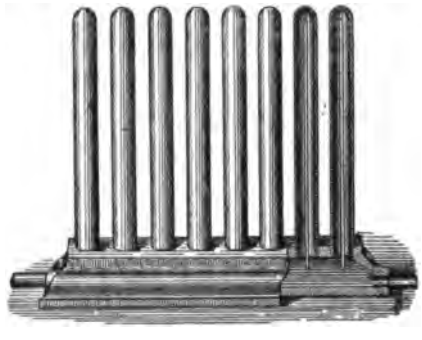


Fig. 779.

Certains radiateurs sont construits tout en fonte et présentent des surfaces extérieures ondulées ou décorées.

1368. Purgeurs d'air. — Dans les systèmes de chauffage domestique que nous venons de décrire, il faut, à la mise en train, expulser l'air contenu dans les surfaces chauffantes et canalisations.

Cette opération peut s'effectuer à la main au moyen de petits robinets qu'on ouvre quand on veut mettre en service les radiateurs et qu'on ferme aussitôt qu'ils laissent échapper de la vapeur.

Dans les installations où le nombre des appareils est assez grand, cette double manœuvre devient impraticable et on laisse souvent ouverts en permanence de petits robinets spéciaux (780), dont la sortie se raccorde sur un collecteur spécial débouchant à l'air libre en un point où l'échappement n'est pas gênant. Cette disposition donne lieu à une perte de vapeur pendant toute la durée du chauffage.

Fig. 780.

On peut éviter cet inconvénient au moyen des purgeurs d'air automatiques dans lesquels on utilise la dilatation d'un métal sous l'action de la chaleur.

La figure 781 montre la disposition d'un de ces appareils.

Il est formé d'un cadre en fer *abcd* à l'intérieur duquel est disposé un tube en cuivre pourvu de deux embases repo-

sant l'une sur un des côtés du cadre *c d* et l'autre supportant un guide mobile *g*. Le tube T est fermé à son sommet par un diaphragme percé d'un orifice *o* qui peut être fermé par l'extrémité d'une vis traversant le côté exemple *o* du cadre. Quand on met un appareil en train, l'air qu'il contient s'échappe jusqu'au moment où la vapeur arrivant dans le tube T chauffe ce dernier qui s'allonge, tandis que les côtés du cadre restent invariables. On règle l'appareil de manière que, lorsque le tube en cuivre a pris la température de la vapeur l'orifice *o* se trouve fermé par la vis *v*.

Fig. 781.

Lorsqu'on arrête le chauffage, le tube central se refroidit et se contracte, l'orifice *o* s'ouvre et l'air rentre dans les appareils.

D'autres appareils sont basés sur la différence de dilatation de deux métaux, ou sur la variation de courbure d'un arc métallique suivant qu'il est chauffé ou refroidi.

Tous ces appareils présentent l'inconvénient de laisser échapper de l'eau et même de la vapeur.

En pratique, on a l'habitude de réunir les sorties des purgeurs d'air sur des collecteurs qui reçoivent l'eau ou la vapeur perdue.

1369. Régulateur automatique d'alimentation. — Théoriquement, dans un chauffage à vapeur à retour direct en fonctionnement régulier, il ne devrait jamais y avoir besoin d'ajouter de l'eau dans la chaudière.

En réalité cette addition est indispensable, parce qu'il y a toujours des pertes de vapeur ; elle s'effectue, automatiquement à l'aide d'un régulateur spécial. Cet appareil n'est pas disposé pour refouler l'eau dans la chaudière, mais pour laisser entrer l'eau en charge empruntée à une conduite sous pression. Il ne s'applique donc qu'aux chaudières fonctionnant à une tension moindre que celle qui existe dans les conduites de distribution d'eau.

L'appareil (fig. 782) se compose d'une caisse C en fonte munie

de trois tubulures communiquant l'une *a* avec la chambre d'eau, l'autre *b* avec la chambre de vapeur de la chaudière et la troisième *c* servant à l'introduction de l'eau nouvelle empruntée à une conduite en charge. L'orifice qui termine la tubulure C peut être fermé par un obturateur *o* garni de caoutchouc et porté par un levier L tournant autour d'un axe *t*. Ce levier L reçoit à son autre extrémité un flotteur F en cuivre, assez léger pour flotter et assez épais pour ne pas s'écraser sous la pression existant dans la caisse C.

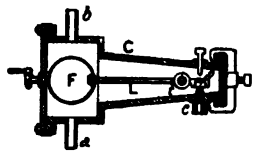


Fig. 782.

Le niveau dans la caisse C est le même que dans la chaudière ; lorsqu'il s'abaisse, le flotteur descend et l'obturateur *o* démasque l'orifice *c*. De l'eau s'introduit dans le générateur jusqu'à ce que le niveau normal soit rétabli.

On pourrait à la rigueur se passer du régulateur d'alimentation, dans les chauffages à retour direct, si le chauffeur avait le soin d'ajouter chaque jour la quantité d'eau nécessaire pour compenser les pertes.

1370. Calculs des dimensions des divers appareils que comporte une installation de chauffage à vapeur. — Les divers éléments à déterminer sont :

Les dimensions des différentes parties de la chaudière à vapeur (grille, surface de chauffe, cheminée).

La surface chauffante des appareils de condensation de vapeur.

Les diamètres des tuyaux de vapeur et de retour d'eau condensée.

Le point de départ de ces calculs est toujours la quantité C de chaleur effective qu'il faut fournir par heure à l'enceinte pour maintenir la température à un degré déterminé pendant les grands froids et que l'on calcule dans chaque cas particulier, comme nous l'avons vu précédemment.

On cherche d'abord le poids de vapeur W que la chaudière doit produire par heure. La chaleur contenue dans la vapeur

sortant de la chaudière est égale à ρps N, de sorte que, si on désigne par $\lambda = 606,5 + 0,305\ t$ la quantité de chaleur nécessaire pour produire 1 kilogramme de vapeur avec de l'eau prise à 0° centigrade et par θ la température de l'eau d'alimentation de la chaudière on a :

$$\rho ps N = W(\lambda - \theta)$$

et comme $C = (\rho - \beta) ps N$, on trouve entre W et C la relation

$$W = \frac{\rho}{\rho - \beta} \frac{C}{\lambda - \theta}.$$

Si la vaporisation se fait à 2^{at}, $t = 120°,60$, $\lambda = 643,33$ et, si on alimente avec de l'eau à 43°,33, $\lambda - \theta = 600$.

Supposons en outre $\rho = 0,60$ et $\beta = 0,10$ on a

$$W = \frac{0,60}{0,50} \times \frac{C}{600} = \frac{C}{500}.$$

Le poids de vapeur est égal au nombre de calories à fournir utilement, divisé par 500.

Connaissant le poids de vapeur à produire, les dimensions de la chaudière, de la grille, de la cheminée, des carneaux, etc., se déterminent comme nous l'avons indiqué.

Nous rappellerons sommairement la marche du calcul.

Poids de combustible. — Le poids ps de combustible à brûler par heure se déduit immédiatement de l'équation

$$ps = \frac{C}{(\rho - \beta)N} \quad \text{ou bien} \quad ps = \frac{W(\lambda - \theta)}{\rho N}.$$

Pour

$$\rho = 0,60, \quad \lambda - \theta = 600 \quad \text{et} \quad N = 8000$$

on trouve

$$ps = \frac{1}{8} W.$$

C'est-à-dire que le poids de combustible peut se calculer à raison de 7 à 8 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille. C'est ce qu'on obtient pratiquement avec une chaudière bien disposée et bien conduite.

Surface de la grille. — En admettant une combustion de 75 kilogrammes de houille par m. q. de grille et par heure $p = 75$ et par conséquent on a pour la surface de grille

$$s = \frac{W}{8 \times 75} = \frac{W}{600}.$$

On prend quelquefois

$$s = \frac{W}{800}$$

ce qui suppose la combustion de 100 kilogrammes de houille par mètre carré de grille.

Section de la cheminée. — La section Ω de la cheminée se calcule au moyen de l'équation générale

$$ps = 500\Omega\sqrt{\frac{H}{1+R}}.$$

Si on a pu prendre la hauteur assez grande pour que

$$\frac{H}{1+R} = 1$$

on a

$$\Omega = \frac{ps}{500}.$$

S'il n'a pas été possible de faire H assez grand et qu'on ait, par exemple,

$$\sqrt{\frac{H}{1+R}} = 0{,}80$$

on trouve

$$\Omega = \frac{ps}{400}.$$

Surface de chauffe de la chaudière. — La surface de chauffe de la chaudière se détermine d'après la production moyenne w de vapeur par mètre carré ; on a :

$$S = \frac{W}{w}.$$

La valeur de w est, pour une bonne utilisation, comprise entre 12 kilogrammes et 18 kilogrammes. La moyenne est $w =$ 15 kilogrammes.

Quand on veut réduire l'espace occupé on prend souvent, pour les petits chauffages à vapeur, $w = 18$ kilogrammes et même $w = 20$, ce qui diminue le rendement et oblige à prendre certains types spéciaux de chaudières.

Surface chauffante des appareils à vapeur. — La vapeur emporte en sortant de la chaudière une quantité de chaleur ρps N ; elle vient se condenser dans des appareils qui peuvent être placés, comme nous l'avons vu, soit directement dans les lieux à chauffer, soit dans les sous-sols. Dans ce dernier cas, la chaleur perdue dans le transport βpsN se divise en deux, l'une $\beta_1 ps$N de la chaudière à l'appareil, l'autre β_2 psN de l'appareil à l'enceinte.

On a donc

$$\beta = \beta_1 + \beta_2$$

et la chaleur M à transmettre par la condensation aux appareils de chauffage est

$$M = C + \beta_2 psN = (\rho - \beta_1) psN = \frac{\rho - \beta_1}{\rho - \beta} C.$$

Si l'appareil est placé dans l'enceinte même, β_2 est nul et, par suite, M = C.

Soient : S_1 la surface chauffante des appareils à vapeur, Q le coefficient de transmission à travers les parois de ceux-ci, T la température de la vapeur, t la température de l'enceinte ou de l'air chauffé.

La transmission par unité de surface étant Q (T-t), on en déduit :

$$S_1 = \frac{\rho - \beta_1}{\rho - \beta} \times \frac{C}{Q(T - t)}.$$

Diamètres des canalisations de distribution de vapeur. — Nous avons vu que le minimum de perte de charge totale correspondait au cas où la vapeur circulait dans les conduites

avec une vitesse d'environ 20 mètres; c'est d'après cette considération qu'on détermine le diamètre des conduites.

1371. Canalisations de retour d'eau. — On calcule leurs dimensions en se fixant une vitesse pour la circulation de l'eau qui rentre aux générateurs; cette vitesse dépend de la pente qu'on peut donner aux conduites de retour; on la prend souvent égale à $0^{m},30$.

§ XII

CHAUFFAGE MIXTE PAR L'EAU CHAUDE ET LA VAPEUR.

Dans ce système, on fait intervenir à la fois la vapeur et l'eau. La vapeur abandonne sa chaleur à l'eau qui la cède à son tour aux enceintes à chauffer. On se sert donc de deux intermédiaires pour transmettre la chaleur, ce qui doit donner lieu à un surcroît de dépense et de complication. Cependant le chauffage mixte peut être avantageusement employé dans certains cas. Il permet, en effet, au moyen de la vapeur de transporter rapidement la chaleur à de grandes distances de son lieu de production et l'emploi de l'eau chaude donne de la stabilité au chauffage.

Le système mixte ne convient nullement pour le chauffage des enceintes dont l'occupation est intermittente. Dans ces locaux, il faut pouvoir relever rapidement la température intérieure, et par suite celle des appareils de chauffage; d'ailleurs, il y a le plus souvent intérêt, au point de vue de l'économie, à pouvoir arrêter le chauffage aussitôt que l'occupation cesse. C'est le chauffage par la vapeur directe qui convient dans ce cas.

Au contraire, lorsqu'il s'agit, d'un service permanent de jour et de nuit, bien que le système à vapeur convienne encore parfaitement, on lui préfère souvent le chauffage mixte, comme plus stable. Ainsi, un mètre cube d'eau, chauffé de 20° à 100°, absorbe 80000 unités de chaleur formant une réserve disponible qui peut être fort utile en cas d'arrêt momentané du

chauffage ou d'une production de vapeur accidentellement insuffisante. Ce système présente encore l'avantage de permettre de couvrir le feu des chaudières, la nuit, pendant quelques heures, sans que la température des salles chauffées subisse un abaissement trop sensible.

L'importance du volume d'eau à chauffer dépendra à la fois de la valeur des pertes de chaleur par la ventilation et les parois des enceintes, ainsi que de la durée d'interruption de fonctionnement qu'on admettra pour le foyer.

Une grande masse d'eau donne une grande stabilité au chauffage, mais lui retire sa souplesse. La mise en train est alors lente ; puis, lorsque l'eau est chaude, si la température extérieure s'élève brusquement, ce qui est généralement le cas dans nos climats, il devient impossible de se débarrasser rapidement de l'excès de chaleur emmagasinée ; les salles restent ainsi pendant un certain temps trop froides ou trop chaudes. Lorsque, pour se mettre à l'abri de ces inconvénients, on prend un volume d'eau très faible, le refroidissement s'opère presque aussi vite que dans le cas d'une installation à vapeur directe et le chauffage mixte n'est plus alors qu'une complication. Il conviendra donc de faire, suivant les cas, un choix judicieux entre ces termes extrêmes.

Le chauffage mixte est réalisé suivant deux systèmes différents :

1° La vapeur chauffe l'eau par transmission à travers une paroi métallique ;

2° La vapeur chauffe l'eau en passant directement à son contact.

1372. Chauffage mixte par transmission à travers une paroi. — Ce premier système de chauffage de l'eau par la vapeur a été imaginé par Ph. Grouvelle père et appliqué à la prison Mazas où il a fonctionné dès l'année 1850.

La figure 783 indique schématiquement la disposition adoptée. A est une chaudière à eau chaude ordinaire dont le foyer est remplacé par un serpentin S, ou par tout appareil de transmission alimenté de vapeur.

La vapeur venant, par le tuyau V, d'un générateur placé à

une distance quelconque chauffe par l'intermédiaire du serpentin S l'eau du récipient A et le mouvement s'établit dans la canalisation BC, absolument de la même manière que lorsque le chauffage s'effectue au moyen d'un foyer.

L'eau condensée provenant de la liquéfaction de la vapeur dans le serpentin S s'écoule par un tuyau E et retourne à la chaufferie où elle est réemployée à l'alimentation du générateur.

Chaque appareil de chauffage à eau, composé d'un récipient A et d'une circulation BC, doit être pourvu d'un vase d'expansion R, à peu près vide quand l'eau est froide, et dans lequel s'accumule l'excès de liquide résultant de la dilatation de l'eau pendant le chauffage. Lorsque l'eau de la circulation doit être portée à une température supérieure à 100°, le vase d'expansion est fermé. Il est pourvu d'un robinet à entonnoir permettant d'ajouter de l'eau, quand cela est devenu nécessaire, et l'alimentation s'effectue avant la mise en service du chauffage, pendant que les appareils sont froids.

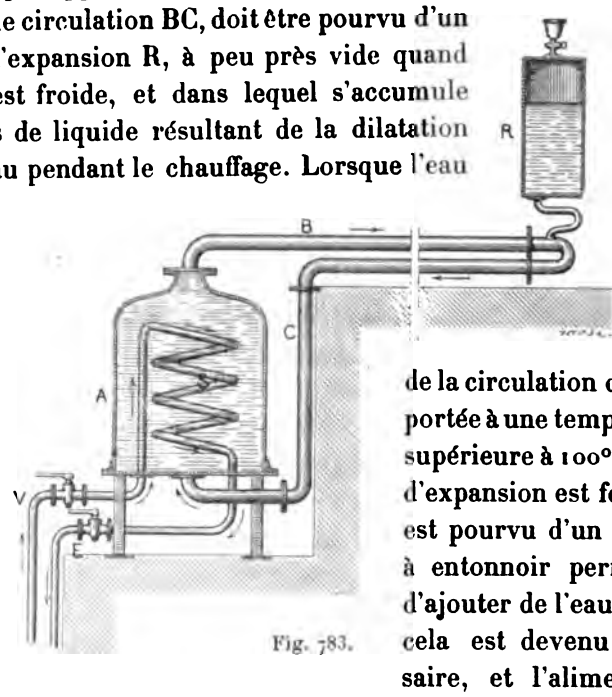


Fig. 783.

La chaudière A, le vase d'expansion fermé et les poêles de chauffage, lorsque la capacité de ces divers appareils dépasse 100 litres et qu'ils supportent une pression effective nettement appréciable, sont soumis aux règlements concernant les récipients (Décret du 30 avril 1880).

1373. Chauffage mixte à vapeur et à eau sans circulation. — Ph. Grouvelle père a modifié le système mixte

qu'il avait installé à Mazas, pour l'appliquer au chauffage des salles d'hôpitaux. Il a supprimé les circulations d'eau horizontales qui desservaient plusieurs locaux à la fois. Chaque appareil de chauffage a été réduit à un récipient ou poêle, placé directement dans l'enceinte à desservir et renfermant l'eau qui doit être chauffée par le serpentin à vapeur. Le nombre des poêles et leur surface chauffante dépendent des dimensions qu'on peut donner aux appareils et des pertes de chaleur à compenser (déperditions par les parois et ventilation). Les tuyaux de distribution de vapeur et de retour d'eau condensée circulent sous le plancher et se raccordent respectivement l'un à l'entrée et l'autre à la sortie de chaque serpentin à vapeur.

Le poêle Grouvelle est formé d'un récipient cylindrique, de section circulaire, convenablement rempli d'eau, et traversé par des tubes verticaux à l'intérieur desquels peut circuler de l'air. Ces tubes augmentent la surface chauffante de l'appareil; ils sont baignés extérieurement par l'eau du poêle qui est chauffée au moyen d'un serpentin immergé dans lequel on envoie de la vapeur.

Une autre disposition du poêle mixte Grouvelle est celle qu'appliquèrent Thomas et Laurens à l'hôpital Lariboisière. Ce poêle se compose : d'un récipient cylindrique de forme allongée et presque complètement rempli d'eau; de douze tubes verticaux qui le traversent de part en part; enfin, d'une chambre étroite venue de fonte avec la base, ayant même longueur qu'elle et formant une espèce de double fond qui sert à chauffer l'eau du poêle.

Ce double fond communique, d'une part, avec le tuyau de distribution de vapeur et d'autre part avec le tuyau de retour d'eau condensée. Ces deux tuyaux sont logés dans un caniveau en contre-bas du plancher. Ce système de surfaces chauffantes présente des inconvénients. Le remplissage est une opération qui exige des soins; il est, en effet, important de ne pas mettre trop d'eau, car, si les appareils sont trop remplis, la dilatation de l'eau sous l'influence de l'élévation de sa température peut suffire pour les faire rompre.

Par contre, lorsqu'un poêle est insuffisamment rempli, sa

surface chauffante et, par suite, sa puissance d'action diminue.

Quand les poêles sont vides par suite de fuites à leurs parois le chauffage se trouve supprimé presque complètement.

1374. Chauffage mixte par transmission directe. — Dans ce système, la vapeur arrive directement au contact de l'eau à chauffer ; par sa condensation elle alimente le poêle automatiquement et maintient toujours au niveau normal le volume d'eau qu'il renferme.

Pour éviter les inconvénients signalés plus haut, la distribution de la vapeur doit être effectuée suivant les principes appliqués dans le système de chauffage à vapeur. Les surfaces chauffantes ou poêles de chauffage sont seuls modifiés.

1375. Poêle mixte Geneste et Herscher. — Cet appareil (fig. 784) se compose d'un récipient cylindrique et d'un tube intérieur dont la hauteur limite l'importance de la réserve d'eau. La vapeur venant des chaudières et circulant toujours dans le sens de la gravité arrive à la partie supérieure du poêle. L'air qu'il contient s'échappe par le purgeur automatique d'air et d'eau et la vapeur chauffe d'abord rapidement la partie métallique non baignée par le liquide. L'eau de condensation s'emmagasine dans le réservoir d'eau et le trop-plein s'écoule par le tube central. La vapeur descend aussi dans ce tube et chauffe progressivement l'eau emmagasinée. L'eau condensée chaude s'accumule au-dessus du purgeur, se refroidit et la glace du tiroir s'ouvre de manière à ne laisser écouler que l'eau refroidie à une température déterminée, 80° par exemple. Lorsqu'on arrête le chauffage, l'eau chaude contenue dans le poêle fournit de la chaleur pendant un certain temps.

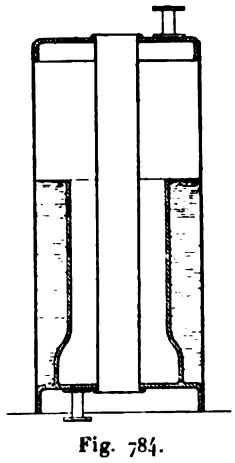


Fig. 784.

Dans cette disposition, une partie du poêle est rapidement chaude et, dès la mise en train, transmet de la chaleur à l'enceinte.

On est toujours sûr que la réserve d'eau est complète, puisqu'elle s'alimente automatiquement par la condensation de la vapeur de chauffage.

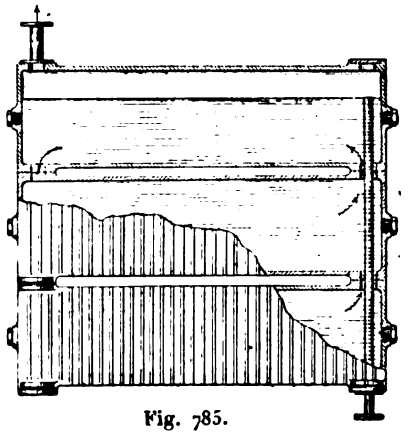


Fig. 785.

Ce poêle peut être formé d'éléments plats à ailettes, superposés, comme l'indique la figure 785.

Dans le cas où ce poêle serait vide d'eau, la surface totale se trouverait chauffée par la vapeur, le manque d'eau n'influerait que sur la quantité de chaleur emmagasinée par le poêle.

Les poêles de ce système peuvent être munis de tubes d'air (fig. 784) afin d'augmenter leur surface chauffante sans augmenter leur volume.

Quelle que soit la disposition adoptée, les appareils sont toujours pourvus d'un purgeur automatique d'air et d'eau.

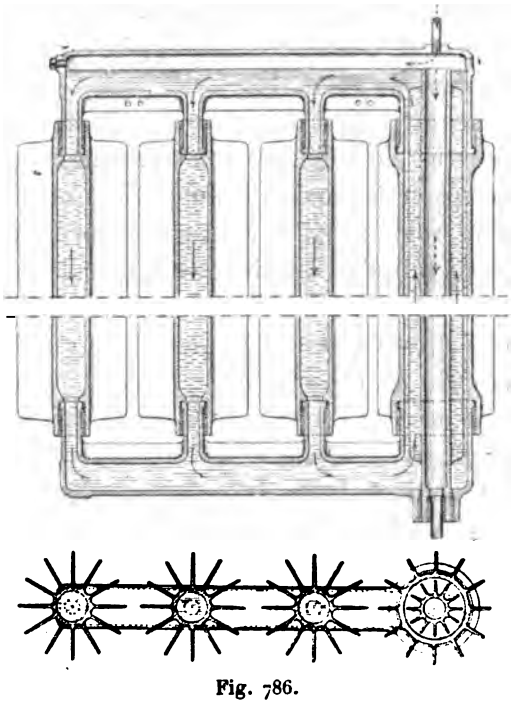


Fig. 786.

1376. Poêle Grouvelle. — Il se compose (fig. 786) d'un certain nombre de tuyaux verticaux en fonte à ailettes longitudinales, assemblés sur les

tubulures de deux collecteurs horizontaux également en fonte. Dans l'axe d'un des tuyaux, dont le diamètre est un peu plus fort que celui des autres, on dispose un tube qui traverse le collecteur inférieur et monte à peu près jusqu'à mi-hauteur du collecteur supérieur. L'eau qui s'accumule dans le poêle s'échauffe au contact de ce tube dans lequel descend la vapeur, et qui sert en même temps de trop-plein.

Dans cet appareil, les divers joints sont faits au mastic de fonte; la distribution de la vapeur et l'évacuation de l'eau condensée sont effectuées d'après le système que nous avons décrit au n° **1358**.

1377. Poêle Sulzer. — Ce poêle (fig. 787) est formé de deux cylindres concentriques CC′ reliés à leurs extrémités par des fonds en fonte.

Le fond inférieur porte une chambre annulaire D sur laquelle sont vissés cinq tubes *tt*, dont la longueur limite la hauteur de la réserve d'eau. Celle-ci est généralement fixée à moitié de la hauteur du poêle.

Les tuyaux *v* de prise de vapeur et *r* de retour d'eau condensée sont branchés sur un même tuyau distributeur vertical. qui passe à proximité du poêle à chauffer. Le tuyau *v*, muni d'un robinet, entre à la partie supérieure du poêle et se prolonge jusqu'à l'intérieur de *t*, dans lequel il pénètre très librement. Lorsqu'on ouvre le robinet S, la vapeur fournie par la conduite T passe dans le tube *v* et vient sortir à l'intérieur et près du sommet du tube *t*. Une partie de cette vapeur se condense au contact de la paroi froide, le reste remonte dans l'espace annulaire CC′. Un purgeur d'air (*p*) spécial disposé au sommet du poêle C laisse échapper l'air, mais se ferme dès que la vapeur remplit la capacité CC′. L'eau condensée s'ajoute à celle contenue dans le poêle et la quantité en excès descend dans les tubes *t* et s'accumule dans la chambre annulaire D.

Dès que le purgeur d'air est fermé, la pression augmente dans le poêle et il arrive un moment où cette pression, augmentée de celle de la colonne d'eau qui remplit les tubes *t* et la chambre D

surpasse la pression qui existe dans le tube T d'une quantité équivalente au poids du clapet *c* qui ferme l'entrée du tuyau *r* de retour d'eau. Ce clapet se soulève alors et l'eau contenue dans les tubes *tt* et dans D s'écoule. La vapeur prend la place de l'eau à mesure qu'elle s'écoule et chauffe successivement la réserve d'eau du poêle.

L'eau s'écoulant par le tuyau de retour *r* rentre dans le tube T ; lorsqu'elle arrive froide elle donne lieu à des claquements. On atténue cet effet, en réchauffant l'eau condensée dans un petit vase annulaire R avant qu'elle ne se déverse dans le tuyau T. Malgré cette précaution, on observe des bruits à la mise en train des appareils.

La purge de l'air ne peut pas s'effectuer convenablement et les surfaces chauffantes sont mal utilisées.

Elles peuvent être placées directement dans les enceintes à chauffer ou installées dans les sous-sols.

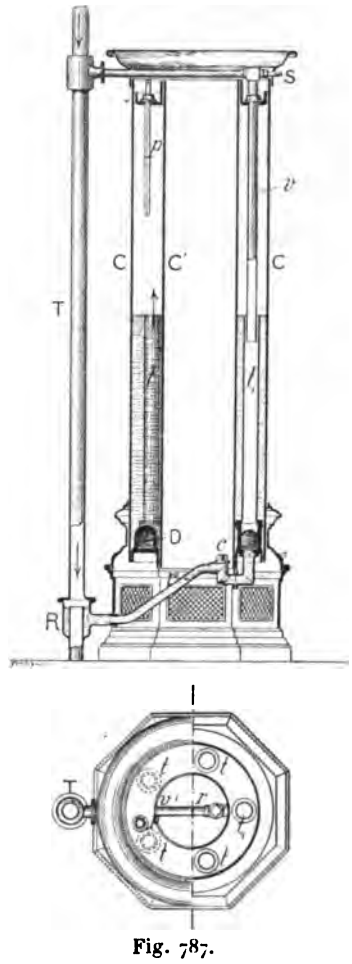


Fig. 787.

Ce système de chauffage mixte avec batteries en sous-sol a été appliqué par Ser, à l'hospice d'Ivry, à l'Hôtel-Dieu et à l'hôpital Tenon.

1378. Avantages et inconvénients du chauffage mixte. — En résumé, nous avons vu que le chauffage mixte possède quelques-uns des avantages du système à vapeur directe et présente en même temps une stabilité qui manque à celui-ci. Mais, d'un autre côté, le système mixte entraîne à des compli-

cations et à des dépenses supplémentaires d'installation. Nous avons fait remarquer que ce système manquait de souplesse et ne pouvait être employé pour des chauffages intermittents.

Au point de vue de la sécurité, il est inférieur au chauffage par la vapeur directe, car la gelée peut faire rompre les poêles si, pendant les temps froids, on ne prend pas la précaution de les vider, lorsqu'ils ne sont pas en service. Pour ces diverses raisons, le chauffage mixte est assez peu employé ; il ne convient spécialement que dans le cas du chauffage continu.

PROCÉDÉS D'APPLICATION.

La ventilation et le chauffage des enceintes habitées constituent deux opérations, en général simultanées, mais qui doivent être nettement distinctes. L'intensité de chacune d'elles doit pouvoir être modifiée séparément. La ventilation, en effet, varie suivant l'affectation des salles et le nombre des occupants ; le chauffage dépend de la température extérieure.

Dans tous les cas, lorsqu'on veut chauffer une enceinte, il convient de pouvoir augmenter ou diminuer à volonté la quantité de chaleur émise dans ce local, sans troubler ni modifier les conditions de la ventilation (**1189**).

De plus, il est important de ne pas perdre de vue que l'air de ventilation doit être très peu chauffé. Au point de vue de la santé et du bien-être, la majorité des hygiénistes est d'accord sur ce point qu'il est préférable à tous égards de respirer de l'air aussi frais que possible.

Chacun a pu constater que l'air porté à une température trop élevée perd, en partie, ses propriétés hygiéniques. En général, il a une certaine odeur, il dessèche la gorge, il est désagréable à respirer et fatigue les poumons.

En pratique, la température de l'air de ventilation doit, de préférence, rester un peu inférieure à celle qu'on veut maintenir dans l'enceinte desservie.

Il résulte de cette exigence qu'il faut bien se garder, comme cela se fait trop souvent, de se servir de l'air de ventilation

pour transporter les calories destinées à compenser les pertes de chaleur par les parois des enceintes. En effet, à moins d'exagérer la ventilation, il faudrait alors élever la température de l'air d'autant plus que le froid est plus intense.

Quand on chauffe une salle par émission d'air chauffé, ce fluide est porté à une température qui dépasse parfois 50° et même 60°, afin de réduire les dépenses de chauffage. Cet air chaud monte directement au plafond.

Le même mouvement ascensionnel se produit lorsqu'on installe un appareil de chauffage au milieu d'une enceinte. L'air s'échauffe au contact des parois de l'appareil et s'élève vers le plafond en conservant les calories qu'il a emmagasinées. Si on

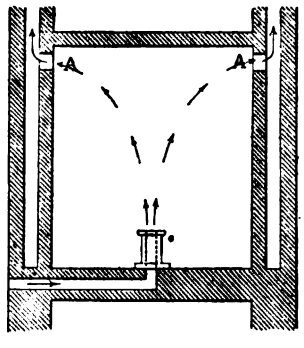


Fig. 788.

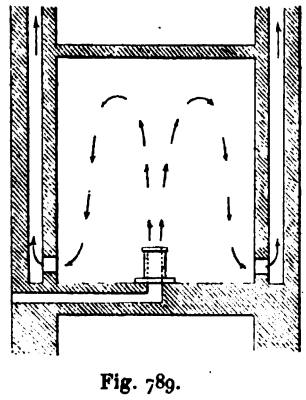


Fig. 789.

dispose alors les bouches d'évacuation près du plafond (fig. 788), toute cette chaleur sera perdue pour le chauffage. Afin d'éviter une dépense exagérée de combustible, résultant de cette mauvaise utilisation, on est conduit à disposer les bouches d'évacuation près du sol. L'air chaud accumulé au plafond redescend à mesure qu'il se refroidit au contact des parois froides. Il se produit donc, à la surface de ces dernières, des courants descensionnels d'autant plus intenses que les causes de refroidissement sont plus importantes et plus actives. C'est ainsi que, dans les temps froids, le séjour près d'une baie vitrée, même calfeutrée avec le plus grand soin, est absolument intolérable au bout de peu de temps.

L'emploi des bouches d'évacuation basses permet de réaliser une économie sur la dépense de combustible (cette dépense reste cependant toujours supérieure à celle qu'exige un système de chauffage rationnellement établi), mais par contre on rend la ventilation défectueuse. L'air, dans la zone habitée, est alors mélangé avec les gaz viciés produits par la respiration et par le fonctionnement des appareils d'éclairage.

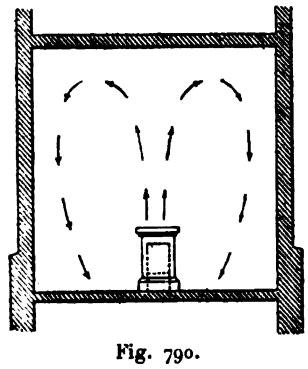


Fig. 790.

Quand on supprime la ventilation dans le chauffage, pendant la non-occupation des locaux, l'air, dans son mouvement, suit le chemin indiqué par les flèches (fig. 790). On constate le long des parois froides les mêmes courants d'air que dans le cas de la figure 789.

Il est cependant possible de chauffer rationnellement une salle par émission d'air chaud. Il faut alors avoir la précaution de séparer et de chauffer à des températures différentes l'air destiné à la respiration et celui qu'on veut employer au chauffage.

L'air de ventilation, très peu chauffé, est émis aussi près que possible des personnes, afin qu'il puisse être respiré avant d'avoir subi aucune viciation. L'air de chauffage porté à une température suffisamment élevée est émis au bas des parois refroidissantes de l'enceinte; il monte le long de ces parois et compense leur refroidissement; dans la zone supérieure, il rencontre l'air vicié par les occupants et le mélange s'échappe par les bouches d'évacuation réservées près du plafond.

Pour qu'un même appareil puisse fournir de l'air à des températures variées, on dispose les gaines de prise d'air et les conduits de chaleur de façon à permettre de faire des mélanges d'air chaud et d'air froid en proportions variables, et d'obtenir la température convenable.

M. Somasco a réalisé dans sa maison de Creil un emploi rationnel de l'air chaud, en le faisant circuler entre des murs doubles pour annihiler l'effet du refroidissement extérieur.

Cette solution n'est pas toujours applicable; par exemple, lorsqu'on se trouve en présence d'édifices déjà construits. Même dans des constructions neuves, il n'est pas toujours possible d'accepter l'établissement de murs creux.

M. le professeur Émile Trélat propose alors d'émettre directement dans les salles, pendant la période de non-occupation, de l'air porté à une haute température, afin de chauffer fortement les murs et le mobilier.

Dès l'arrivée des occupants, on cesse le chauffage et les murs dépensent au profit de la salle la chaleur qu'il ont emmagasinée; l'air de ventilation peut être modérément chauffé dans un appareil spécial ou même introduit froid par des vitres perforées. Cette solution a été appliquée à l'Asile municipal de Villers-Cotterets.

Dans beaucoup de cas, on dispose, comme nous l'avons indiqué, des surfaces rayonnantes au bas des murs froids. De plus, on garnit la base des murs, sur tout leur pourtour, d'un cordon ou ruban de chaleur, de manière à compenser en chaque point les pertes par les parois. Cette disposition a permis d'obtenir des résultats très satisfaisants et fort appréciés.

Nous allons rappeler brièvement les dispositions qui sont le plus souvent préférées et qu'on retrouvera, en général, dans les exemples d'installation que nous donnons plus loin.

— Pour les locaux collectifs, tels que salles de parlement, salles de théâtre, amphithéâtres, etc.

Introduction d'air pur par pulsion au travers de bouches nombreuses réparties sur toute la surface occupée et percées d'une infinité d'orifices de très petite section, le dit air introduit seulement à une température de 18 à 25 degrés en hiver et rafraîchi en été;

Absence de tout chauffage direct des locaux occupés, sauf pour les murs et parois exposés au refroidissement extérieur;

Neutralisation de la salle proprement dite, aux points de vue du refroidissement et des courants d'air descensionnels, par le chauffage des couloirs et des parties enveloppantes;

Évacuation de l'air vicié par le haut.

— Pour les salles d'hôpitaux spécialement :

Disposition de chauffage et de ventilation permettant l'ouverture des orifices d'aération naturelle aussi souvent que possible.

Surfaces chauffantes longeant le bas des parois froides et présentant un développement proportionné à l'importance du refroidissement ;

Introduction d'air par des vitres perforées en contrehaut des batteries chauffantes ;

Évacuation d'air vicié par le plafond. Pour le cas particulier de maladies où on redoute les entrées d'air froid au voisinage des malades et l'ouverture des fenêtres, on peut utilement recourir au procédé de pulsion mécanique.

— Pour les salles de classe, d'études et autres locaux scolaires :

Chauffage au moyen de surfaces directes longeant le bas des parois refroidissantes.

Entrée d'air neuf par des vitres perforées doublées de vasistas pleins et mobiles, permettant de régler l'introduction ;

Évacuation de l'air vicié par des gaines verticales ascendantes et partant du plafond des salles.

— En général, pour toutes espèces de locaux :

Installation des appareils de chauffage de manière à combattre le refroidissement des parois extérieures et à empêcher à leur contact, la production de courants descendants froids et viciés.

Dans les grands vaisseaux, comme églises, etc. :

Émission de chaleur sur les bas côtés exclusivement.

— En ce qui concerne la ventilation des laboratoires et des ateliers où se dégagent des vapeurs nuisibles ou des poussières :

Ventilation par aspiration à l'aide de procédés mécaniques, pour éviter la dissémination de ces vapeurs et poussières ainsi que pour produire le plus vite et le plus énergiquement possible leur évacuation.

EXEMPLES DIVERS

D'INSTALLATIONS

SORBONNE

Ventilation mécanique; chauffage par la vapeur, par l'eau chaude et par l'air chaud.

Ventilation générale par insufflation mécanique.

Ventilateurs actionnés, les uns directement, les autres par moteurs électriques. Pulvérisation d'eau pour rafraîchir l'air de ventilation. Evacuation de l'air vicié par les plafonds ou par des gaines réservées dans les murs; rampes à gaz pour aider l'appel en cas de besoin.

Commutateurs pour la mise en marche et l'arrêt des appareils électriques établis dans la salle même des machines.

Arrêt instantané et automatique de toute machine électrique réceptrice dont le fonctionnement normal vient à cesser accidentellement; sonnerie électrique d'avertissement. Coupe-circuits fusibles pour le cas d'échauffement anormal des câbles électriques.

Chauffage par calorifère à air chaud pour le grand amphithéâtre, la salle du Conseil académique, le grand vestibule d'entrée, les grands escaliers et les couloirs. Émission d'air à température élevée pour le chauffage des parois et à température modérée pour les besoins de la respiration. Émission d'air à très faible vitesse par des grilles disposées sous les sièges des auditeurs dans le grand amphithéâtre. Évacuation de l'air vicié par le plafond.

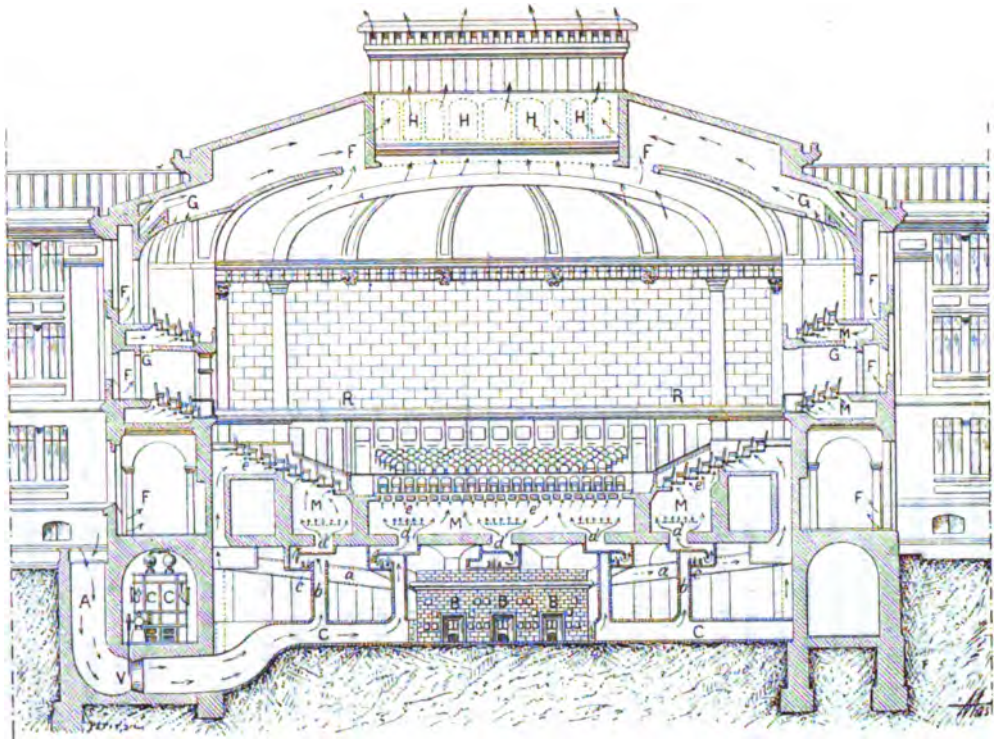
Chauffage à eau, système micro-siphon pour les appartements de M. le Recteur. Surfaces chauffantes composées de tubes en fer à ailettes également en fer.

Chauffage à vapeur pour les bureaux, salles de cours, de conférences, de compositions, les amphithéâtres d'enseignement libre. Rubans de chaleur formés de tuyaux en fer placés au bas des parois froides dans les salles du second étage et du troisième, pour compléter le chauffage par émission d'air chaud dans les temps froids et compenser le refroidissement des murs lors de la période de non-occupation de ces locaux pendant une partie de l'hiver. Purgeurs automatiques d'air et d'eau appliqués aux appareils de chauffage à vapeur.

Disposition permettant de faire varier, selon les besoins, la température de l'air émis sans changer l'importance de la ventilation. Dans les bureaux particuliers, l'occupant est libre de modifier à son gré la température de l'air neuf introduit.

LÉGENDE DE LA FIGURE.

C Chaudières à vapeur.
A Prise d'air neuf.
V Ventilateur.
B Calorifère à air chaud.
M Chambre de distribution.
R Ruban de chaleur.
F Bouches d'émission chauffant les couloirs de pourtour de l'amphithéâtre.
G Bouche d'évacuation.
H Cheminée d'évacuation.
a gaine d'air chaud.
b branchement d'air froid.
c pulvérisateur.
d bouches d'émission d'air mélangé dans les chambres de distribution.
e bouches d'émission dans la salle.



SORBONNE

Coupe sur le grand amphithéâtre.

HOTEL DE VILLE DE PARIS

Ventilation mécanique et chauffage par la vapeur.

On a appliqué la ventilation mécanique au moyen de ventilateurs, les uns hélicoïdaux, les autres à force centrifuge (système L. Ser), actionnés par des moteurs électriques recevant le courant de deux machines génératrices établies dans le sous-sol.

La ventilation s'effectue par insufflation pour les bureaux du rez-de-chaussée, les bureaux du service financier, la salle du conseil municipal, le service du Préfet, les salons et les grandes salles de fêtes.

La ventilation s'opère par aspiration mécanique pour les locaux du sous-sol; les bureaux des étages sont ventilés par appel ou par aération directe.

Le système de chauffage employé est le chauffage par la vapeur à basse pression. La vapeur, fournie par des générateurs multitubulaires inexplosibles, placés dans les sous-sols, est élevée dans les combles, détendue à une pression insensible et distribuée en circulant toujours dans le sens de la gravité. Des surfaces chauffantes rayonnantes sont disposées, autant que faire se peut, dans les locaux mêmes à desservir, près du sol, au bas des parois refroidissantes et notamment des parties vitrées.

Le chauffage et la ventilation sont absolument indépendants; les surfaces chauffantes sont divisées de telle façon que les unes fournissent de la chaleur près des parois refroidissantes et que les autres chauffent à température modérée l'air neuf de ventilation.

Le service de la ventilation et du chauffage comporte :

10 générateurs et 2 moteurs à vapeur;

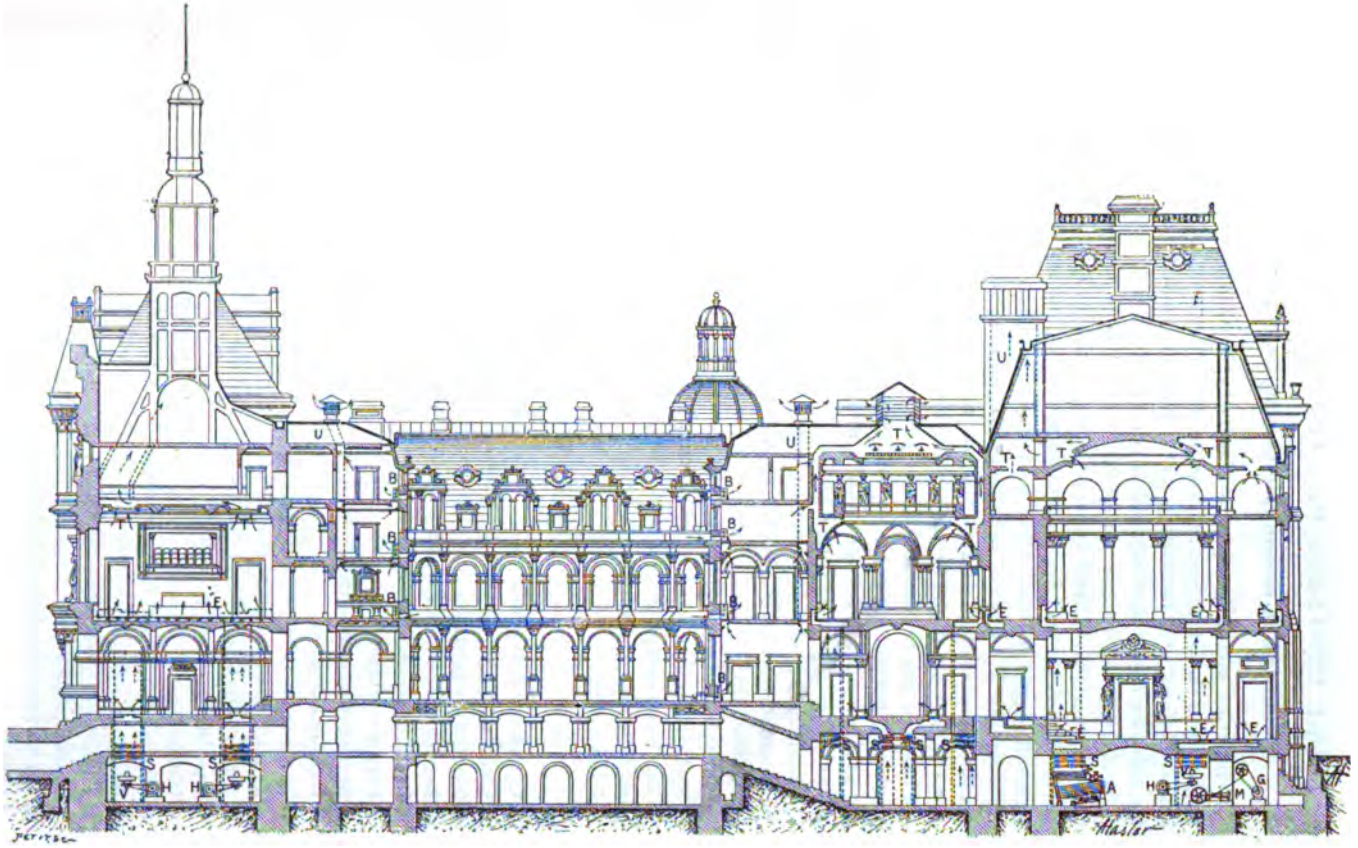
2 machines électriques génératrices;

34 machines réceptrices actionnant les ventilateurs.

Plusieurs des générateurs, affectés dans la journée au service du chauffage, servent le soir à alimenter les machines produisant la lumière électrique.

LÉGENDE DE LA FIGURE.

A Chaudières à vapeur.
M Machine —
G Machine électrique génératrice.
H Machine électrique réceptrice.
V Ventilateurs.
E Bouches d'émission d'air neuf.
T Bouches d'évacuation d'air vicié.
U Cheminées d'évacuation.
S Surface chauffante installée dans une gaine en maçonnerie.
B Surface chauffante apparente avec prise d'air extérieur à la base.



HOTEL DE VILLE DE PARIS
Coupe transversale.

ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES

Ventilation mécanique et chauffage par la vapeur.

Ventilation mécanique par insufflation et aspiration combinées pour les amphithéâtres. Ventilation mécanique par aspiration pour les laboratoires, salles d'élèves, etc. Ventilation par aspiration pour les salles d'examens, les salles de modèles, d'échantillons, les couloirs et locaux d'habitation.

Ventilateurs actionnés par moteurs électriques. Commutateurs pour la mise en marche et l'arrêt des appareils placés dans la salle des machines à portée du mécanicien. Arrêt automatique des dynamos réceptrices dès que le fonctionnement normal vient à cesser accidentellement. Interrupteurs. Avertisseurs à sonnerie indiquant instantanément quels appareils sont arrêtés. Impossibilité de remettre en marche les appareils accidentellement arrêtés avant que toutes choses ne soient remises en état.

Chauffage par la vapeur à basse pression. Surfaces de chauffe rayonnantes et indépendantes; une partie compense les pertes de chaleur par les parois froides et le reste chauffe modérément l'air de ventilation. Purgeurs automatiques d'air et d'eau.

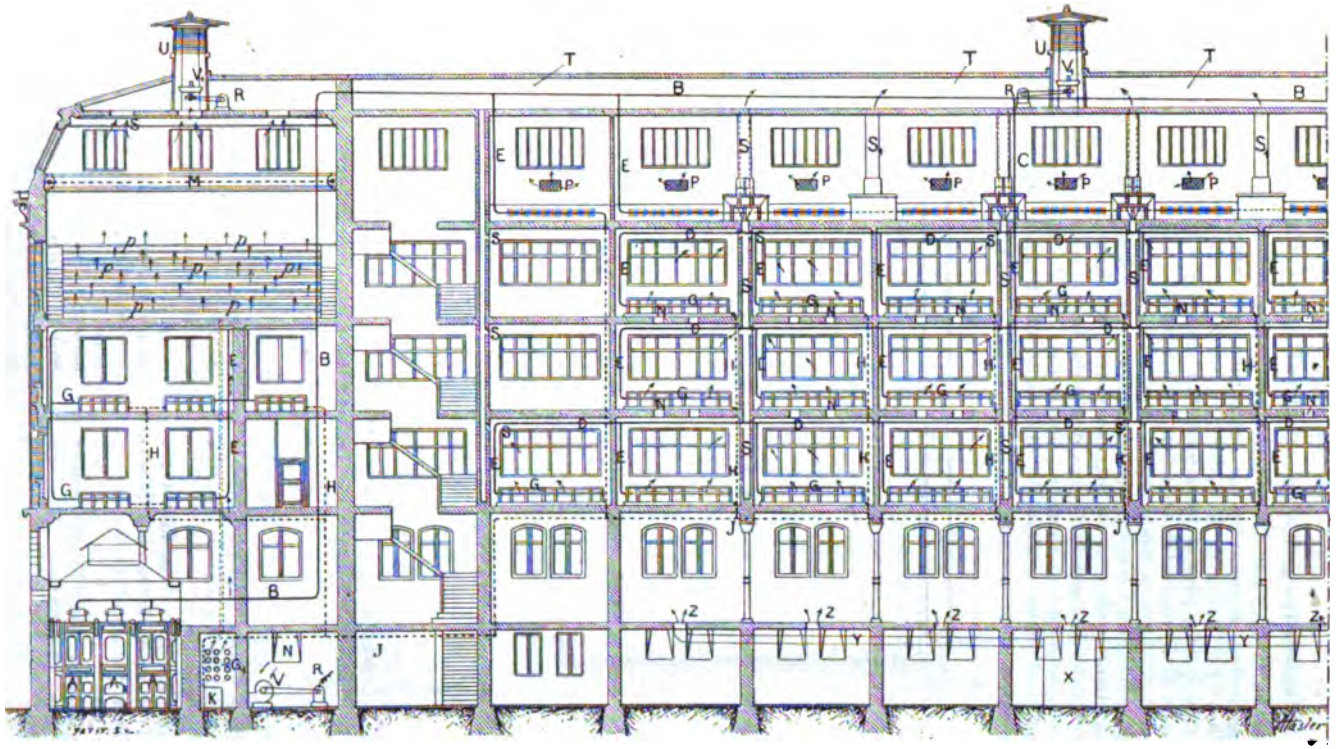
Chauffage par calorifères à air chaud avec foyers à combustibles pauvres et à combustion lente pour les appartements, les couloirs de la direction et le réfectoire.

L'installation générale comprend :

3 générateurs, 2 machines à vapeur, 3 machines électriques génératrices, 10 machines réceptrices fixes et une transportable pour les expériences de l'amphithéâtre, 7 ventilateurs à hélice et 3 ventilateurs à force centrifuge système L. Ser.

LÉGENDE DE LA FIGURE.

A Chaudière à vapeur.
B Canalisation de vapeur avec détendeur de pression.
C Branchement desservant les canalisations secondaires (D) des couloirs des étages.
E Branchements alimentant les surfaces chauffantes.
G Surfaces chauffantes enveloppées dans un coffrage ajouré et divisé en deux parties permettant le chauffage indépendant de l'air de ventilation.
G_1 Batterie chauffant l'air de ventilation de l'amphithéâtre.
H Tuyaux de retour d'eau condensée.
J Collecteur de retour d'eau.
K Bâche recevant les eaux condensées.
M Ruban de chaleur entourant l'amphithéâtre.
N Prises d'air.
P Bouches d'émission d'air neuf.
p p p. Grilles d'émission d'air neuf dans les contremarches de l'amphithéâtre.
R Machine électrique réceptrice actionnant le ventilateur V.
S Bouches et gaines d'évacuation d'air vicié.
T Gaine collectrice d'air vicié.
U Cheminée d'évacuation.
X Calorifère à air chaud desservant le réfectoire.
Y Conduits d'air chaud.
Q Bouches d'air chaud.



ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES

Coupe longitudinale sur les salles d'élèves.

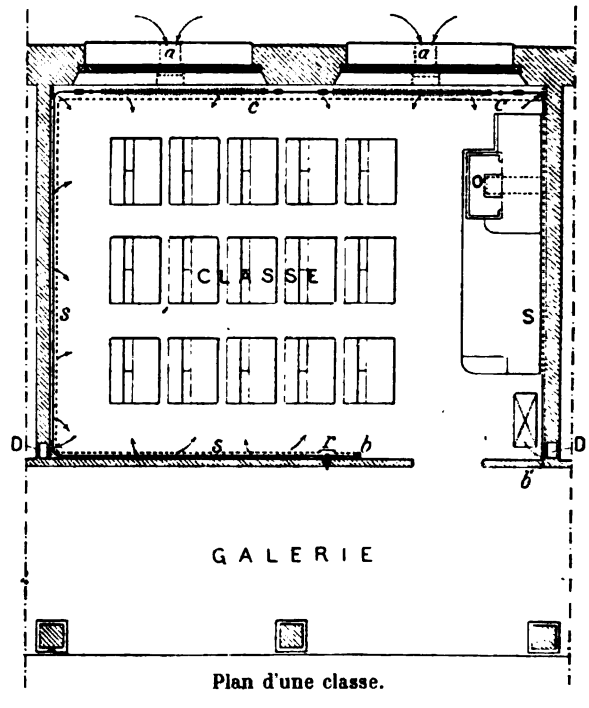
LYCÉE

Ventilation par appel et chauffage par la vapeur.

Introduction d'air par des bouches percées au bas des murs ou par des vitres perforées. Evacuation par des gaines verticales partant du plafond des salles.

Chauffage par la vapeur détendue à une pression insensible ; circulation rationnelle de la vapeur dans le sens de la gravité.

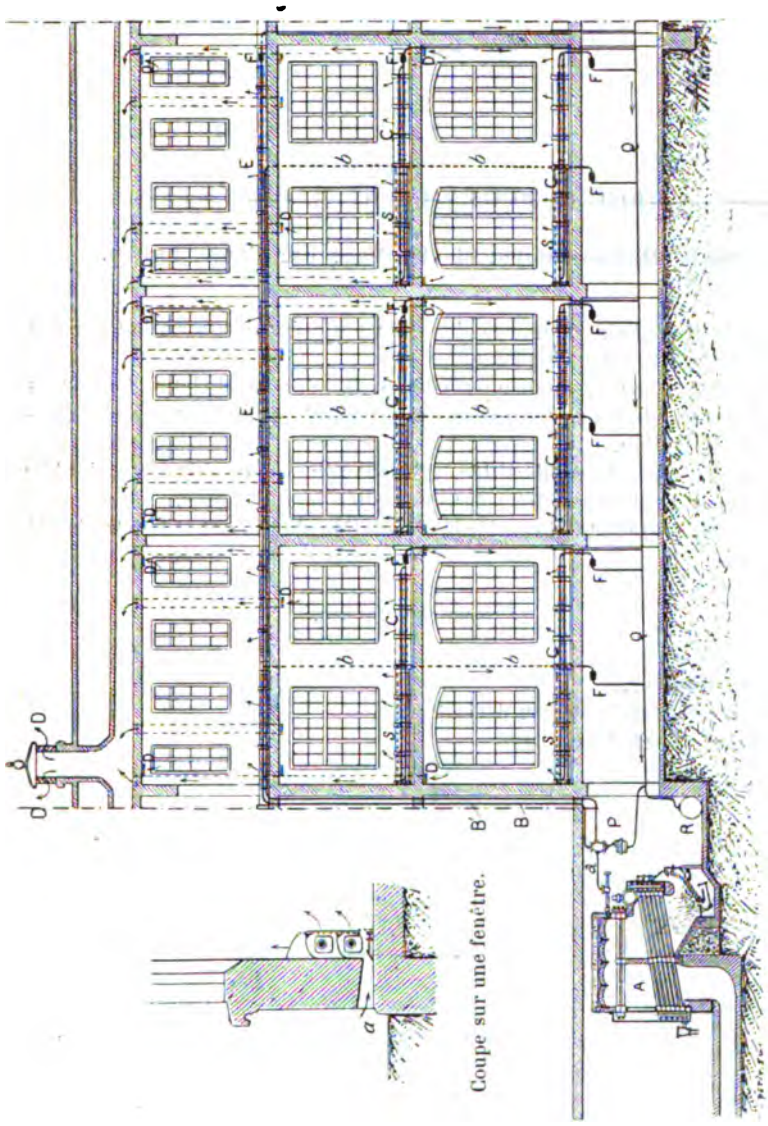
Surfaces de chauffe rayonnantes dans les salles. Chauffage séparé de l'air de ventilation, à température modérée, par des surfaces spéciales. Surfaces chauffantes placées sous les parties vitrées et tuyau de chauffage formant ruban de chaleur au bas des murs tout autour des salles. Indépendance complète des surfaces chauffantes. Emploi de purgeurs automatiques d'air et d'eau condensée. Manœuvre des robinets des surfaces de chauffe et lecture des températures sans entrer dans les salles.



Plan d'une classe.

LÉGENDE DES FIGURES.

A Chaudière avec détendeur a.
BB' Tuyaux principaux de distribution de vapeur.
bb Branchements secondaires alimentant les surfaces chauffantes.
C Surfaces chauffantes des classes et études.
O Chaufferette pour le professeur.
E Surfaces chauffantes des dortoirs.
F Purgeur automatique d'air et d'eau.
P Purgeur automatique d'eau condensée.
QQ Collecteurs de retour d'eau condensée.
R Récipient recevant les eaux de condensation.
S Ruban de chaleur entourant la classe.
r Robinet d'arrêt du chauffage, se manœuvrant du dehors.
a Prise d'air neuf.
D Evacuation d'air vicié.



LYCÉE
Coupe longitudinale.

Lycées chauffés au moyen des dispositions précédentes :
Condorcet, Janson de Sailly, Lakanal, Montaigne, Grand Louis-le-Grand, Michelet, Henri IV, Buffon, Voltaire, etc., etc.
Nota. — On a dû dans chaque installation apporter quelques variantes résultant des exigences locales.

GROUPE SCOLAIRE DE BAGNOLET

Ventilation par appel et chauffage par l'eau chaude.

Introduction d'air au moyen de vitres perforées et évacuation par des bouches réservées dans le plafond.

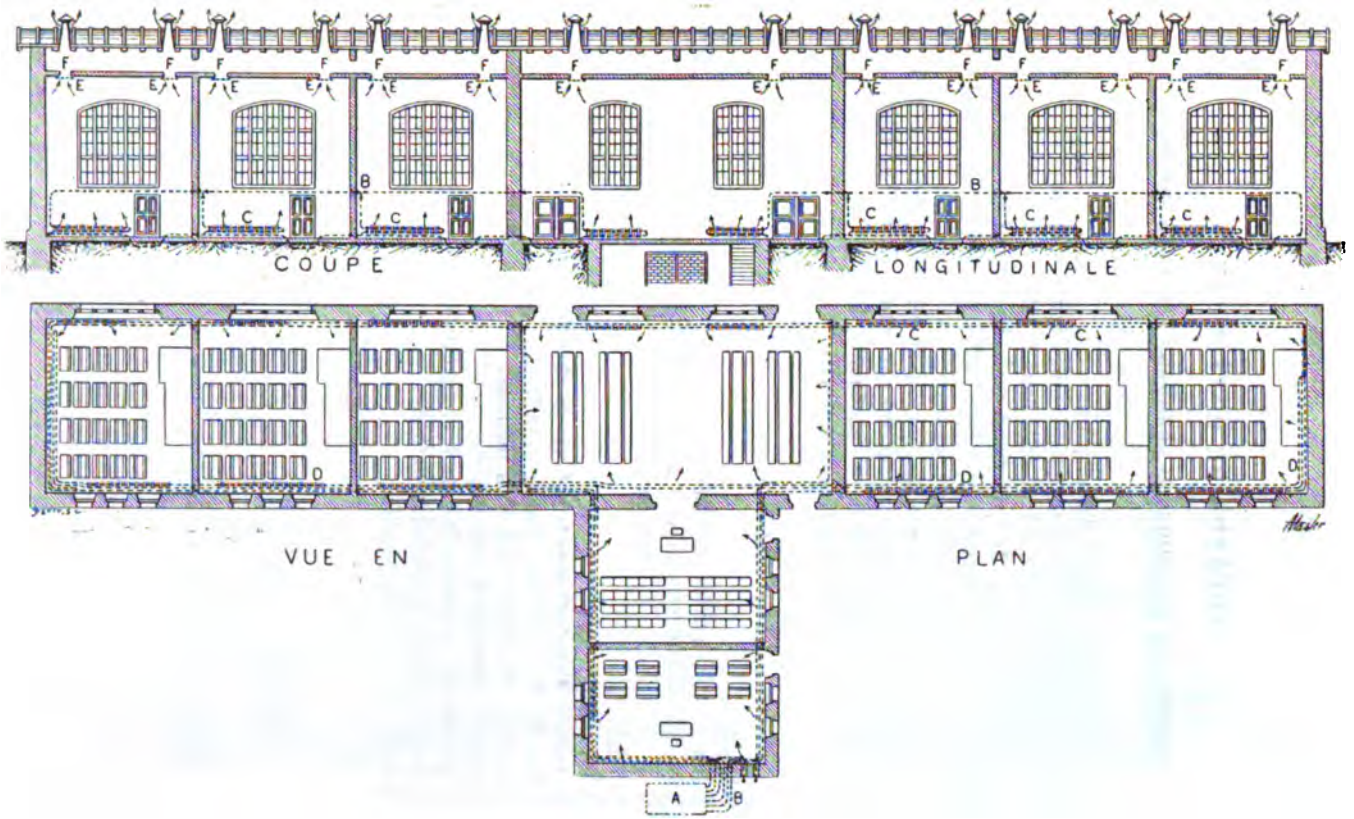
Chauffage à eau, système microsiphon. Rubans de chaleur et surfaces chauffantes à ailettes en fer, placées directement au bas des murs et disposées en dérivation.

Foyer à réserve de combustible, exigeant peu de surveillance et dont le changement peut être opéré à des intervalles assez éloignés.

Appareils permettant de régler la circulation de l'eau et robinets d'arrêt spéciaux.

LÉGENDE DES FIGURES.

A Fourneau.
B Canalisations.
C Surfaces chauffantes en dérivation.
D Rubans de chaleur.



GROUPE SCOLAIRE DE BAGNOLET

THÉÂTRE DE ROTTERDAM

Ventilation mécanique et chauffage par l'eau chaude.

Ventilation mécanique par insufflation.

Chauffage par l'eau chaude, système microsiphon. Batteries disposées sous le parterre et chauffant l'air émis dans la salle.

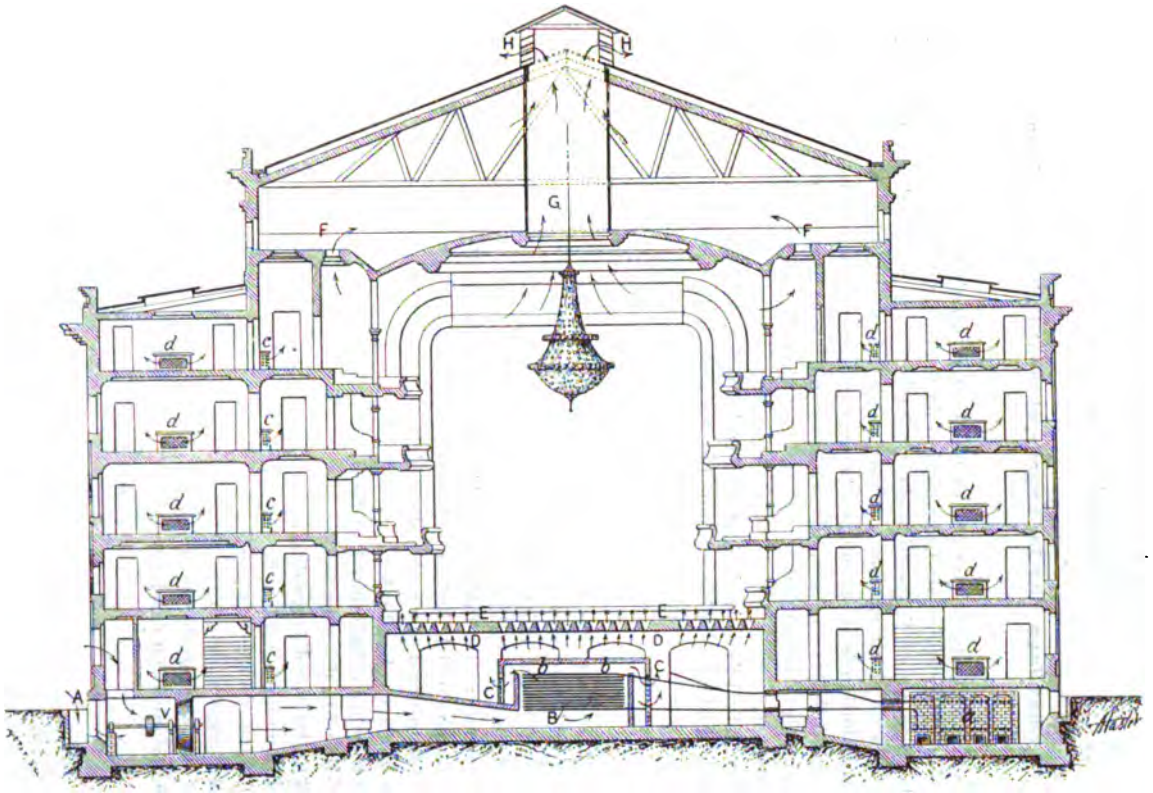
Chambres de mélange de l'air chaud avec l'air frais. Émission d'air à température modérée et sans vitesse appréciable par des grilles disposées sous les places occupées par les spectateurs.

Évacuation de l'air vicié par des ouvertures réservées dans le plafond.

Chauffage des dépendances du théâtre par rubans de chaleur établis au bas des parois froides et surfaces chauffantes disposées en serpentins et placées directement dans les locaux desservis.

LÉGENDE DE LA FIGURE.

a Foyer.
b Batterie de surfaces chauffantes.
c Surfaces chauffantes directes dans les couloirs.
d — — dans les salles.
V Ventilateur.
A Prise d'air.
B Arrivée d'air froid sous la batterie de chauffe.
C Bouche de sortie d'air chauffé et mélangé.
D Chambre de distribution d'air mélangé.
E Bouches d'émission dans la salle.
F Évacuation au plafond des loges de pourtour.
G Évacuation par la cheminée du lustre.
H Sortie de l'air vicié évacué.



THÉATRE DE ROTTERDAM

Coupe transversale.

BUREAUX D'ADMINISTRATION

GARE D'ATOCHA, A MADRID

Chauffage par la vapeur et ventilation mécanique.

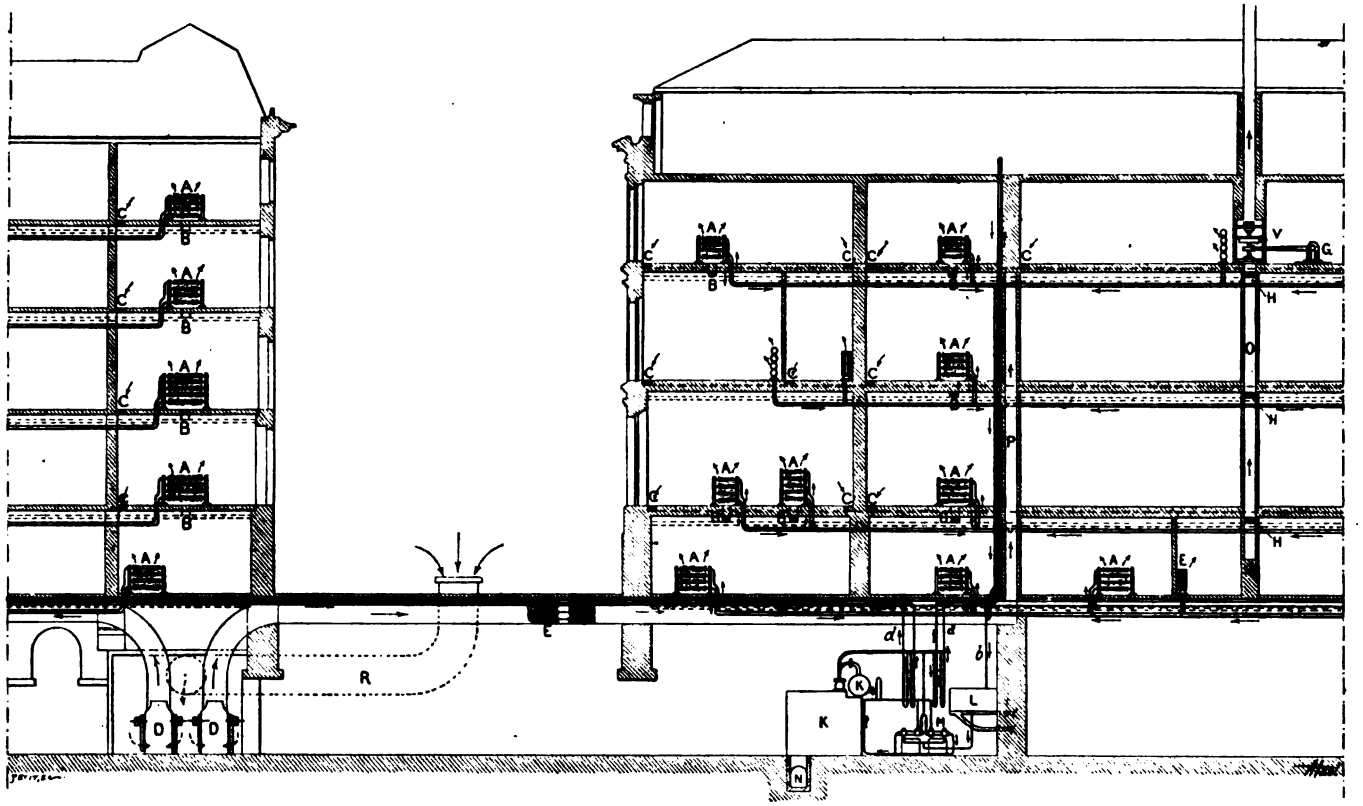
Ventilation mécanique par insufflation. Ventilateurs à force centrifuge actionnés par l'arbre de transmission de mouvement des ateliers du sous-sol. Filtre à air à l'aspiration du ventilateur pour arrêter les poussières. Batterie de chauffage pour dégourdir l'air insufflé en hiver.

Distribution de la vapeur par étages; surfaces chauffantes en tuyaux de fer garnis d'ailettes en fonte. Diaphragmes ou jauges disposés dans le but de ne fournir à aucune surface chauffante plus de vapeur qu'elle n'en peut condenser.

Évacuation de l'air vicié par le bas des salles. Aspiration par un ventilateur hélicoïdal à hélice actionné par un moteur électrique.

LÉGENDE DE LA FIGURE.

R Prise d'air avec filtre à air.
D Ventilateur à force centrifuge.
V Ventilateur hélicoïdal.
G Machine électrique.
E Surfaces chauffantes pour dégourdir l'air de ventilation.
P Gaine de distribution d'air neuf.
O Cheminée d'évacuation d'air vicié.
A Surfaces chauffantes.
B Bouches d'émission d'air tiédi.
C Bouches d'évacuation.
H Collecteur d'évacuation.
K Chaudière à vapeur.
L Bâche de retour d'eau.
M Pompe alimentaire.
d Distribution de vapeur.
b Retour d'eau condensée.



BUREAUX D'ADMINISTRATION (GARE D'ATOCHA, A MADRID)
Coupe longitudinale.

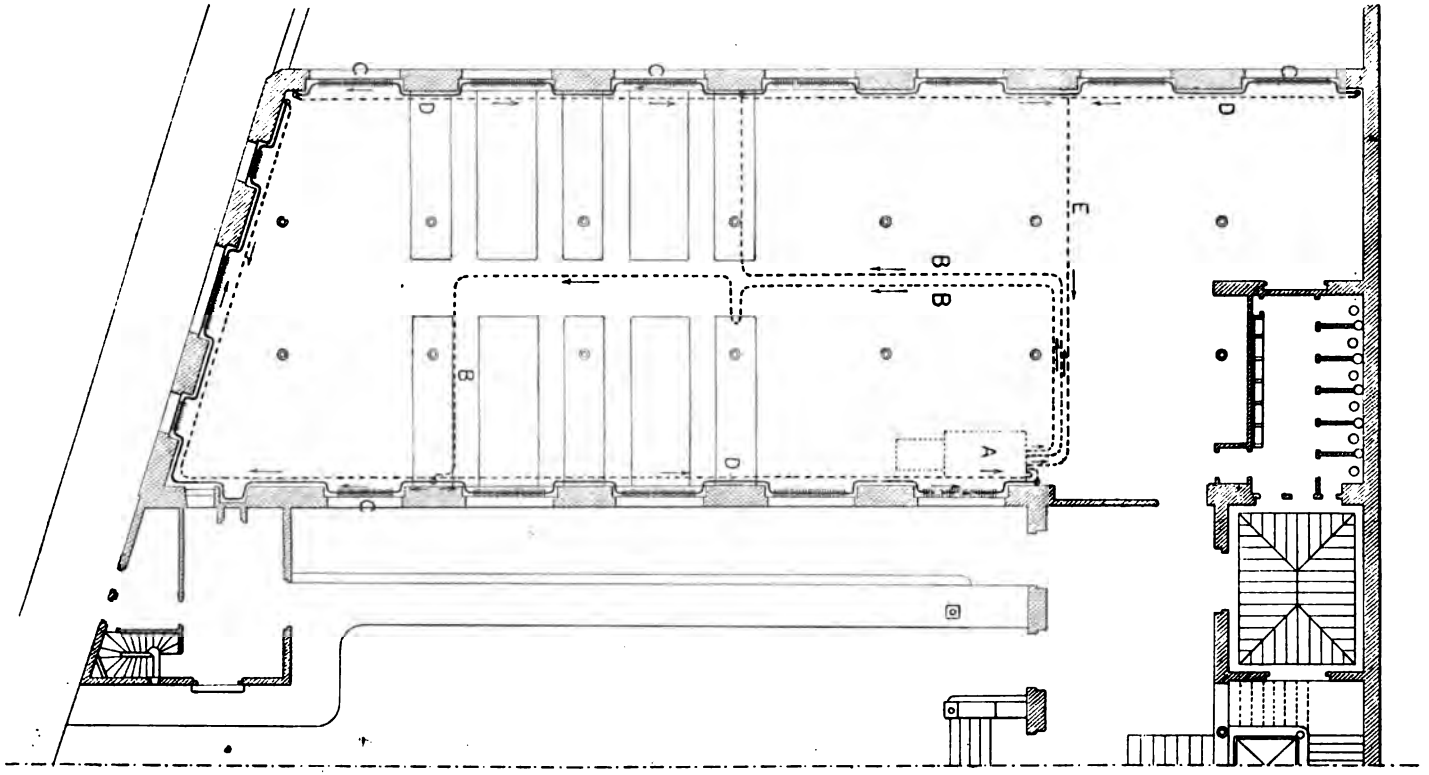
ATELIERS DE LA MAISON DE LA BELLE JARDINIÈRE

Chauffage par l'eau chaude.

Chauffage à eau à moyen volume. Division des circulations pour permettre de faire varier la chaleur émise. Rubans de chaleur au pourtour des salles et surfaces chauffantes à ailettes en fonte, placées au bas des parties vitrées.

LÉGENDE DE LA FIGURE.

A Fourneau.
B Canalisation principale de départ.
C Surfaces chauffantes à ailettes.
D Tuyaux de circulation.
E Canalisation de retour d'eau.



ATELIERS DE LA MAISON DE LA BELLE JARDINIÈRE
Plan d'une aile.

HÔPITAL-HOSPICE AUBAN-MOËT A ÉPERNAY

Ventilation par appel et chauffage par l'eau chaude.

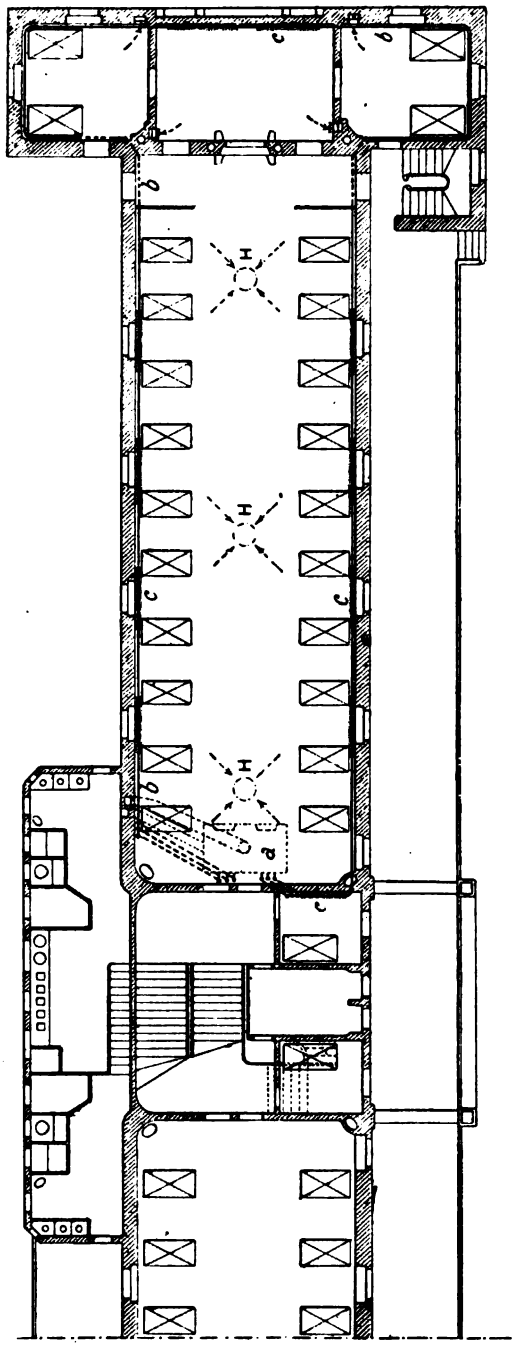
Aération directe assurée, indépendamment de l'ouverture des fenêtres, par le jeu d'impostes munies de vitres perforées, dont on peut faire varier l'effet au moyen de vasistas vitrés pleins.

Évacuation de l'air vicié par des orifices pratiqués au plafond et correspondant à des gaines débouchant au-dessus de la toiture.

Chauffage par l'eau chaude (microsiphon) disposé pour permettre de faire varier facultativement l'importance des surfaces chauffantes. Tubes de chauffage formant rubans de chaleur au bas des murs, tout autour des salles; surfaces chauffantes en fer, à ailettes en fer, placées au bas des baies vitrées. Foyer spécial pour brûler des combustibles pauvres et à bon marché.

LÉGENDE DE LA FIGURE.

a Fourneau.
b Canalisation de distribution et de chauffage.
c Surfaces chauffantes à ailettes.
H Bouche d'évacuation au plafond.
Introduction d'air par vitres perforées.



HOPITAL-HOSPICE AUBAN-MOËT, A ÉPERNAY

Plan d'un demi-pavillon.

PRISON DE LA SANTÉ

Chauffage mixte et Ventilation par appel par le bas.

Ventilation renversée par appel.

L'air de ventilation est pris dans les galeries de surveillance. Il entre chauffé ou non, suivant les saisons, vers le haut des cellules, sort par le siège, descend dans le tuyau de chute, passe dans la galerie des tinettes et est évacué par la cheminée collectrice, munie d'un foyer d'appel.

Chauffage mixte : à chaque étage, circulation d'eau chauffée par la vapeur. Surfaces chauffantes indirectes, placées sous les passerelles de service, pour les étages, et en caniveau pour le rez-de-chaussée.

LÉGENDE DE LA FIGURE.

A Chaudière à eau chauffée par serpentin de vapeur.

B Tuyaux de circulation d'eau chaude, chauffant l'air émis dans les cellules.

C Prises d'air dans la galerie.

D Gaines d'émission d'air pour les cellules.

E Bouches — — dans —

F Évacuation d'air vicié par le siège d'aisances.

G Vases d'expansion du chauffage à eau avec tuyau d'échappement O à l'air libre.

H Tubulures d'évacuation d'air vicié dans la galerie des tinettes.

R Gaine d'évacuation avec registre pour un pavillon.

L Gaine collectrice d'évacuation des pavillons.

M Cheminée de ventilation.

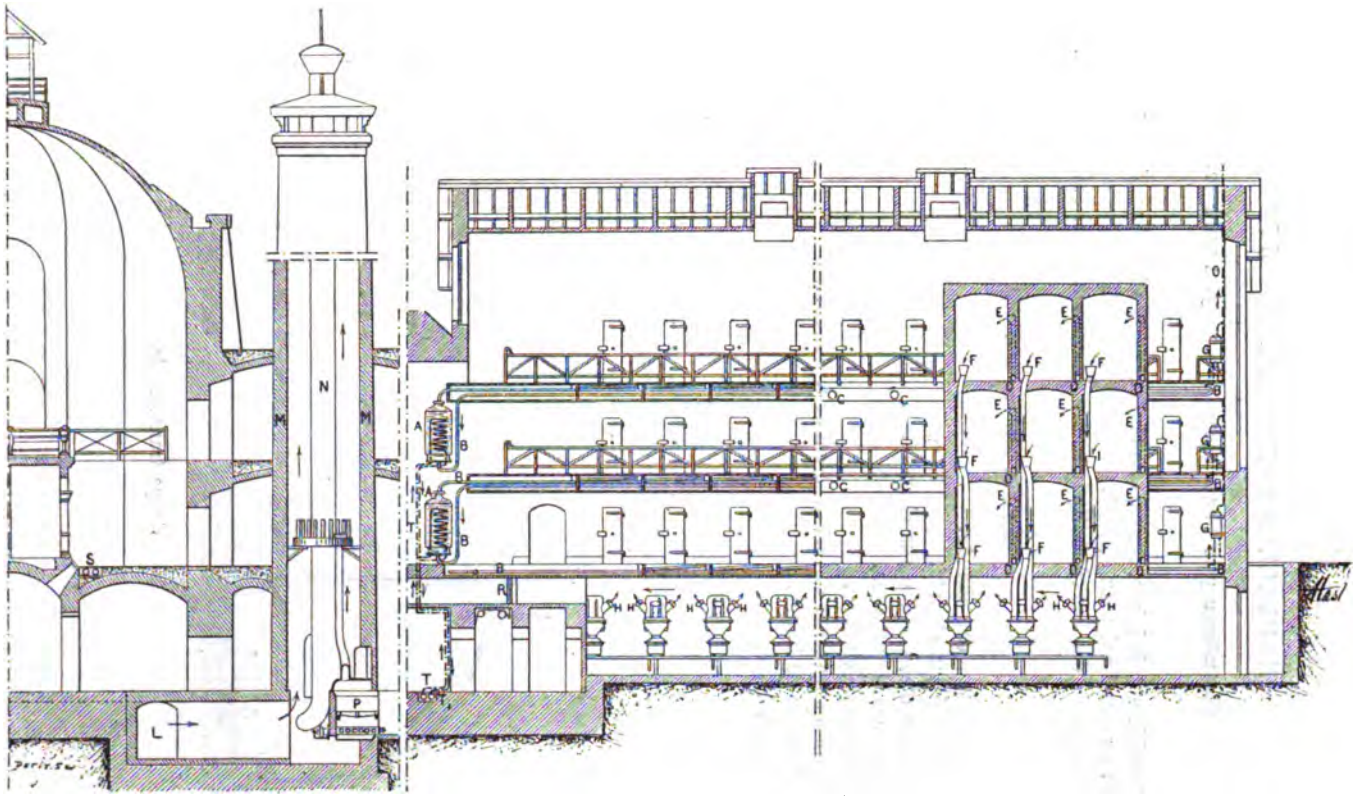
N Tuyau de fumée.

P Foyer d'appel avec rampe pour le mélange des gaz et de l'air vicié à extraire.

T Tuyau de vapeur alimentant le serpentin de chauffage de l'eau.

T_1 Tuyau de retour d'eau condensée.

S Tuyaux de chauffage de la galerie centrale.



PRISON DE LA SANTÉ

Coupe longitudinale sur une des ailes.

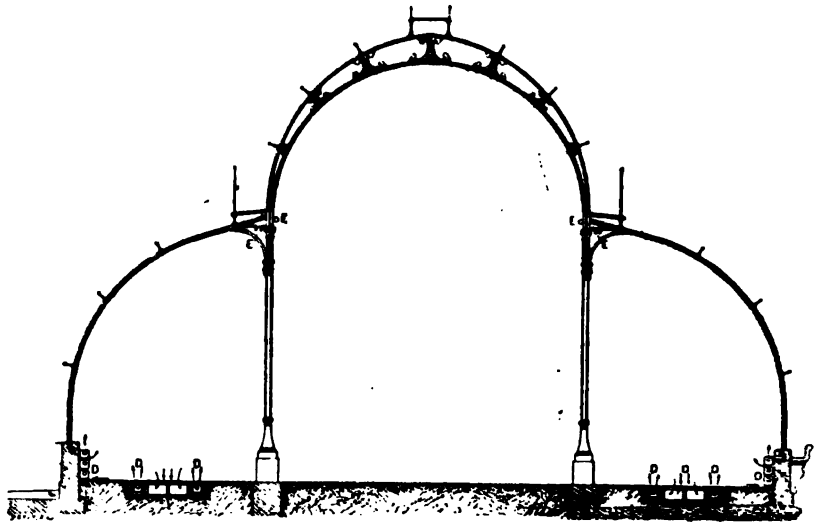
NOUVELLES SERRES DU MUSÉUM

Chauffage par l'eau chaude à moyen volume.

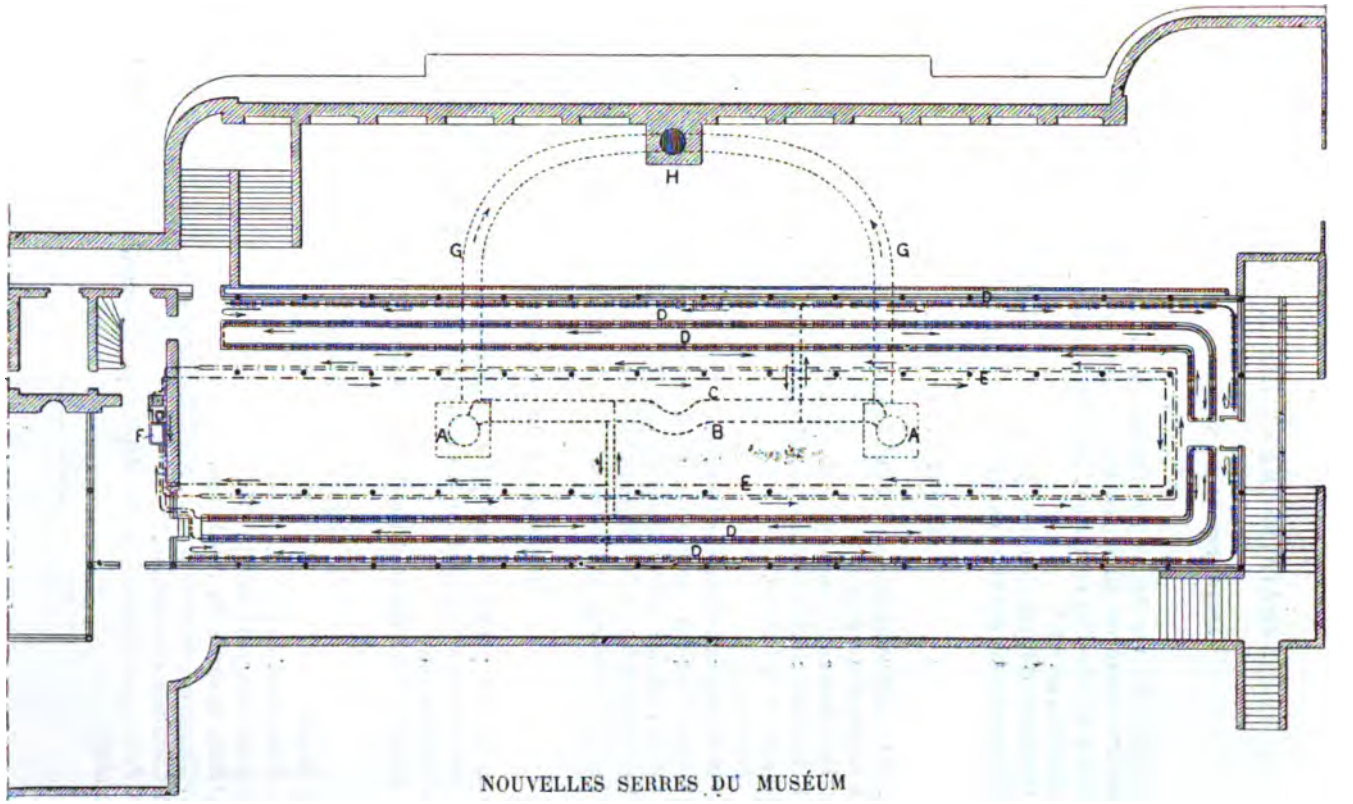
Chaudières tubulaires. Rubans de chaleur établis à la base de la toiture vitrée du grand vaisseau central. Surfaces chauffantes à ailettes longeant le bas des parois des bas côtés. Hydromètre, indicateur de niveau à distance.

LÉGENDE DES FIGURES.

A Chaudière à eau chaude.
B Départ d'eau chaude.
C Retour d'eau froide aux chaudières.
D Surfaces chauffantes.
E Rubans de chaleur.
F Vase d'expansion ouvert avec caisse à flotteur.
G Carneau de fumée.
H Cheminée.



Coupe transversale.



NOUVELLES SERRES DU MUSÉUM

Plan de la grande serre.

ASSAINISSEMENT DES ATELIERS

Dégagement de vapeurs délétères.

Captage des vapeurs au point même où elles se produisent; entraînement de ces vapeurs au moyen d'une aspiration énergique, provoquée par l'action de jets d'air comprimé, installés dans des gaines convenablement disposées à cet effet.

Cheminée d'évacuation avec jet d'entraînement pour ventiler la hotte établie au-dessus des vases dans lesquels se produisent les vapeurs.

LÉGENDE DE LA FIGURE.

A Jets d'air comprimé produisant l'entraînement.

B Gaines d'évacuation.

C Branchements pour appel autour des bassins D.

E Rainure circulaire dans laquelle sont aspirées les vapeurs qui se dégagent de la bassine.

F Fourneau.

H Hotte servant à ventiler l'atelier.

NOTA. — On peut recourir aux jets d'air comprimé pour ventiler par insufflation; on fait arriver au centre des jets un filet d'eau qui se trouve pulvérisé et rafraîchit l'air introduit dans les locaux ventilés.

(Exemple: Ateliers de la maison Dollfus Mieg à Dornach).

Dégagement de poussières.

Captage des poussières aux points de production. Entraînement par un ventilateur aspirant et soufflant. Chambre à chicanes pour le dépôt des particules solides.

Cheminée d'évacuation débouchant au-dessus de la toiture.

LÉGENDE DE LA FIGURE.

A Meule.

B Conduits d'aspiration.

C Ventilateur, système L. Ser.

D Buse de sortie du ventilateur.

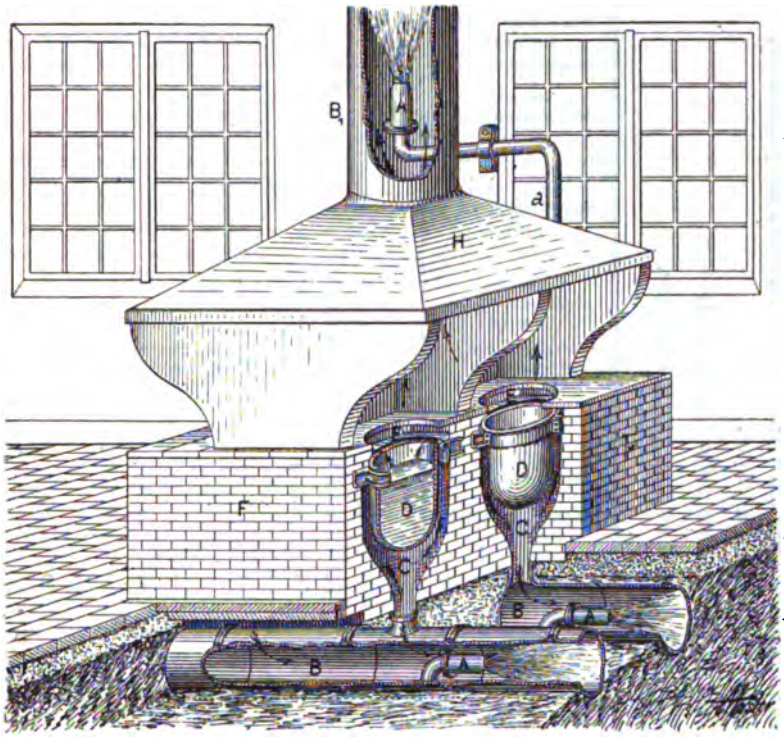
E Chambre à chicanes pour le dépôt des poussières.

F Cheminée d'évacuation.

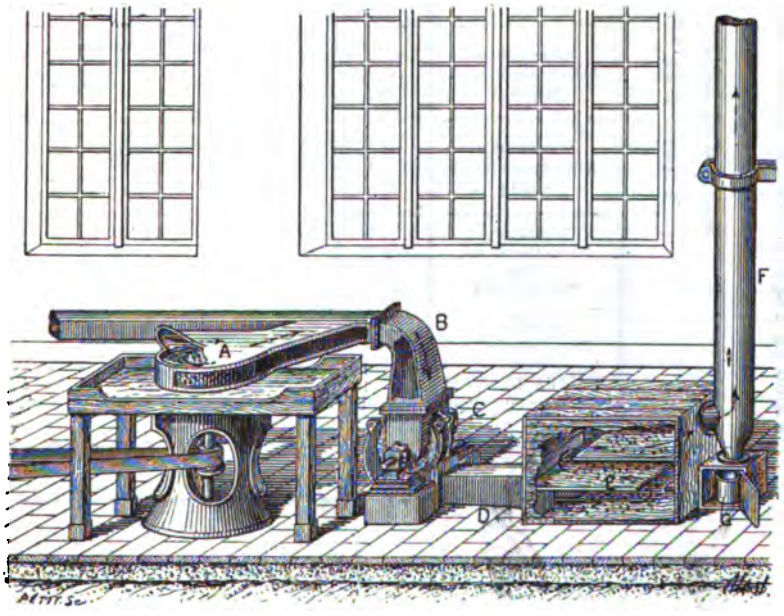
G Porte pour l'extraction des dépôts qui s'accumulent au pied de la cheminée.

ASSAINISSEMENT DES ATELIERS

Dégagement de vapeurs délétères.



Dégagement de poussières.



Poids de vapeur d'eau et d'air contenus dans un mètre cube d'air saturé à différentes températures, et sous la pression atmosphérique.

Poids d'un mètre cube d'air saturé et d'un mètre cube d'air sec.

Volume d'un kilogramme d'air saturé et d'un kilog. d'air sec.

TEMPÉRATURES.	POIDS DE VAPEUR dans UN MÈTRE CUBE d'air saturé.	POIDS D'AIR dans UN MÈTRE CUBE d'air saturé.	POIDS D'UN MÈTRE CUBE d'air saturé.	VOLUME D'UN KILOGRAMME d'air saturé.	POIDS D'UN MÈTRE CUBE d'air sec.	VOLUME D'UN KILOGRAMME d'air sec.	TEMPÉRATURES.	POIDS DE VAPEUR dans UN MÈTRE CUBE d'air saturé.	POIDS D'AIR dans UN MÈTRE CUBE d'air saturé.	POIDS D'UN MÈTRE CUBE d'air saturé.	VOLUME D'UN KILOGRAMME d'air saturé.	POIDS D'UN MÈTRE CUBE d'air sec.	VOLUME D'UN KILOGRAMME d'air sec.
Degrés C.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Mèt. cubes.	Kilogr.	Mèt. cubes.	Degrés C.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Mèt. cubes.	Kilogr.	Mèt. cubes.
0	0.005	1.285	1.290	0.775	1.293	0.773	50	0.082	0.960	1.043	0.959	1.093	0.915
5	0.007	1.259	1.266	0.790	1.270	0.787	55	0.103	0.910	1.013	0.987	1.076	0.929
10	0.009	1.232	1.242	0.805	1.247	0.802	60	0.129	0.852	0.981	1.019	1.060	0.943
15	0.013	1.205	1.218	0.821	1.226	0.816	65	0.160	0.787	0.947	1.056	1.044	0.958
20	0.017	1.177	1.194	0.837	1.205	0.830	70	0.196	0.713	0.910	1.099	1.029	0.972
25	0.023	1.148	1.171	0.854	1.185	0.844	75	0.240	0.629	0.869	1.151	1.014	0.986
30	0.030	1.117	1.147	0.872	1.165	0.858	80	0.290	0.533	0.823	1.215	1.000	1.000
35	0.039	1.083	1.122	0.891	1.146	0.873	85	0.349	0.424	0.773	1.294	0.986	1.014
40	0.051	1.046	1.097	0.912	1.128	0.887	90	0.418	0.300	0.718	1.393	0.972	1.029
45	0.065	1.006	1.070	0.934	1.110	0.901	95	0.497	0.159	0.657	1.522	0.959	1.043
50	0.082	0.960	1.043	0.959	1.093	0.915	100	0.588	0.000	0.588	1.701	0.946	1.057

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME II

AVANT-PROPOS..... V

CHAPITRE I

CHAUDIÈRES A VAPEUR.

§ Ier. — **Préliminaires**..... 1
§ II. — **Classification**..... 13
§ III. — **Chaudières à grand volume**..... 15
Chaudières à foyer extérieur..... 15
— — — à un seul corps..... 16
— — — à bouilleurs..... 18
Calcul des dimensions d'une chaudière à bouilleurs..... 25
Chaudières à réchauffeurs : — Farcot. — Cail et Cie. — Artige..... 28
Chaudières verticales à foyer extérieur..... 33
Chaudières à foyer intérieur : — Cornwall, — Lancashire. 36
Calcul des dimensions d'une chaudière à foyer intérieur.. 38
Chaudière Galloway..... 39
Chaudières verticales à foyer intérieur. — Cochot, — à bouilleurs croisés..... 41
Chaudière à galeries pour bateau..... 43
§ IV. — **Chaudières tubulaires**..... 43
Chaudières de locomotives : — Cie d'Orléans, — Cie du Nord..... 44
— tubulaires fixes : — Molinos et Pronnier, — à tubes et chambre de combustion, — Fairbairn..... 50
— de locomobiles : — à flamme directe, — à retour de flamme..... 53
— marines : — à retour de flamme, — à flamme directe..... 54
Chaudières tubulaires verticales : — Zambeaux..... 59
— semi-tubulaires : — à bouilleurs et réchauffeurs, — à foyer intérieur..... 61
— tubulaires à foyer et faisceau amovible : — Thomas, Laurens et Pérignon, — Weyher et Richemond, — Farcot..... 62
— verticales à foyer amovible..... 67

Chaudières à tubes séparément amovibles : — Berendorf, — Langlois, — Montupet..... 68
— à foyer amovible et tubes démontables : — Fives-Lille..... 69

§ V. — **Chaudières à faible volume d'eau et à vaporisation rapide**..... 71
Chaudières à foyer extérieur : — Serpollet frères, — Belleville, — du Temple, — Root, — de Naeyer, — Lagosse et Bouché, — Rabcock et Wilcox, — Roser, — Collet, — Bourgois et Lencauchez, — Terme et Deharbe, — Oriolle. 73
Chaudières à foyer intérieur : — Trépardoux, — Field, — Thirion, — Durenne..... 107

§ VI. — **Réchauffeurs multitubulaires dits Economisers** : — de Naeyer, — Root, — Rabcock et Wilcox, — Green.... 110

§ VII. — **Observations**..... 116
Considérations générales sur les divers types de chaudières. 116
Comparaison entre les divers types de chaudières..... 122

§ VIII. — **Construction des chaudières**..... 127
Corps des chaudières ; épaisseur des tôles..... 127
Accessoires de la construction des chaudières..... 135
Construction des fourneaux de chaudières..... 139

§ IX. — **Appareils accessoires de sûreté, d'alimentation et de prise de vapeur**..... 141
Indicateurs de niveau..... 142
— — à tube de verre : — Damourette, — Dupuch, — Bourdon..... 143
— — robinets de jauge..... 147
— — à flotteur et sifflets d'alarme : — Bourdon, — E. Bourdon, — Lethuillier et Pinel, — Perrotte, — P. Carette, — Dupuch, — Chaudré, — Renaux et Bonpain..... 147
Manomètres : — Bourdon, — Guichard, — Desbordes, — Ducomet..... 155
Manomètres enregistreurs : — E. Bourdon, — Richard frères..... 159
Soupapes de sûreté..... 161
Calcul des dimensions d'une soupape..... 164
Soupapes de sûreté : — Lethuillier et Pinel, — Dulac, — Hafner, — Adam, — Maurel et Truel..... 166
Chaudière munie de tous ses appareils accessoires de sûreté..... 170
Alimentation des chaudières..... 171
— — bouteille alimentaire..... 172

Alimentation des chaudières injecteur : — Giffard, — Polonceau, — Koerting, — Cuau. 174
— — injecteur à remise en marche automatique : — Gresham, — Cuau, — Hamer, Metcalfe et Davies.. 183
— — pompe alimentaire : Belleville, — Stapfer, — Worthington, — Thirion..... 185
Régulateurs automatiques d'alimentation : — Geneste et Herscher, — Lethuillier et Pinel, — Belleville..... 190
Appareils de retenue d'alimentation..... 193
Prise de vapeur. — Robinets, — Dupuch, — Peet..... 194
Soupapes ou clapets de retenue de vapeur : — Labeyrie, — P. Carette, — Fryer..... 196
Régulateurs de pression de vapeur : — Geneste et Herscher, — Legat, — Belleville,..... 201

§ X. — **Eau entraînée par la vapeur**..... 204
Primage..... 204
Procédés employés pour diminuer le primage : — Vinçotte, — de Naeyer. — Ehlers..... 205
Mesure de l'eau entraînée mécaniquement : — Hirn, — Vinçotte. — Brocq..... 210

§ XI. — **Incrustations**..... 216
Matières en suspension et en dissolution dans l'eau..... 216
1° Alimentation avec de l'eau pure ou purifiée. Épurateurs : — Bérenger et Stingl, — Gaillet, — baron de Derschau. — Épuration par l'action d'une température élevée.... 221
2° Addition de produits dans l'eau des chaudières..... 228
3° Localisation des dépôts. — Appareils : — Duméry, — Dervaux, — Dulac, — Belleville, — Lencauchez..... 232
Appareils électriques..... 235
Extractions (chaudières marines)..... 236
Conclusion..... 237

§ XII. — **Défauts et altérations des chaudières. — Accidents et explosions. — Règlements**..... 239
Vices de construction..... 239
Altération des chaudières.....
— — par surchauffement du métal... 241
Expériences de M. Hirsch..... 246
Accidents produits par le surchauffement..... 248
Altérations des tôles dans les parties les plus chauffées. 241
Expériences de M. Périssé..... 250
Altération par des corrosions..... 251
Associations des propriétaires d'appareils à vapeur..... 253
Accidents des chaudières..... 254

Explosions..... 255
Causes diverses d'explosions..... 259
Règlements sur l'établissement des chaudières à vapeur. Décret du 30 avril 1880; décret du 29 juin 1886..... 262
Tableaux et courbes relatifs au classement des chaudières en catégories..... 276

§ XIII. — **Transport de la vapeur**..... 278
Dispositions générales des conduites de vapeur..... 278
Retour d'eau condensée..... 281
— direct..... 282
— indirect..... 283
Calculs relatifs à l'établissement des conduites..... 284
Purgeurs automatiques : — Péclet, — Geneste et Herscher, — Ballon allemand..... 287
Compteur de vapeur Parenty..... 291

CHAPITRE II

DISTILLATION.

Objet de la distillation..... 298

§ Ier. — **Distillation simple**..... 298
Distillation de l'eau. — Alambic..... 299
Calcul d'un appareil distillatoire..... 301
Distillation à des pressions différentes de la pression atmosphérique..... 304
Appareils de distillation à effets multiples..... 305
Distillation de l'eau de mer. — Appareils : — Mourraille, — Normand..... 307

§ II. — **Distillation des liquides mélangés**..... 315
Distillation de l'alcool. — Appareils: — Cellier-Blumenthal. — Cail. — Savalle. — Egrot..... 315
Rectification de l'alcool. — Appareil Savalle..... 338
— continue de l'alcool. — Appareil Barbet..... 343
Distillation des goudrons de houille..... 346
— des huiles de pétrole..... 352

CHAPITRE III

ÉVAPORATION.

Préliminaires..... 355

§ Ier. — **Évaporation par dissolution de la vapeur dans l'air**.. 356
Évaporation sans intervention de chaleur artificielle..... 356

Évaporation avec intervention de chaleur artificielle..... 358
Calcul de la quantité de chaleur nécessaire pour l'évaporation..... 359
Four Porion pour l'évaporation des vinasses de betterave. 368

§ II. — **Évaporation à la température de l'ébullition**..... 371
Évaporation sous la pression atmosphérique. — Chauffage par serpentin, — par double fond..... 372
Évaporation dans le vide. — Appareil Roth..... 373
Chaudière à cuire de Cail et Cie..... 374

§ III. — **Évaporation à effets multiples**..... 381
Appareil à triple effet. — Cail et Cie..... 392
— horizontal..... 393
Condenseur réchauffeur de jus sucré..... 394
Appareil d'évaporation de Piccard. — Appareil à effets multiples..... 394
Appareil utilisant la transformation d'un travail mécanique en chaleur..... 408

CHAPITRE IV

SÉCHAGE.

Préliminaires..... 401

§ Ier. — **Séchage par procédés mécaniques**..... 401

§ II. — **Séchage à l'air libre**..... 404

§ III. — **Séchage par courant d'air à la température ambiante.** 405

§ IV. — **Séchage par courant d'air chauffé**..... 407
Calcul d'un séchoir à air chaud..... 409
Étendage. — Séchoir Bouillon et Muller..... 417
Séchage méthodique. — Séchoir Péclet. — Séchoir pour tissus, — papier, — matières pulvérulentes..... 419
Dessiccation du bois. — Séchoir de Tergnier. — Séchoir méthodique, — Séchoir de Baccarat..... 428
Dessiccation de la tourbe..... 435

§ V. — **Séchage par chauffage direct**..... 435
Séchoir de Goulston-Square..... 436
Séchoir à eau chaude de Geneste et Herscher, avec régulateur de température..... 437
Appareil à vapeur pour le séchage des étoffes, du papier. 445
Conclusion..... 447

CHAPITRE V

DÉSINFECTION.

Préliminaires..... 448
Étuves à gaz..... 453
— à air chaud..... 456
— — et à vapeur sans pression..... 457
— à vapeur surchauffée..... 459
— à vapeur à 100° c..... 460
— à vapeur sous pression..... 462
Stations de désinfection..... 467
Étuves à vapeur locomobiles..... 468
Étuves de bord et chalands de désinfection..... 469
Désinfection des caisses à biscuits..... 470
— wagons, — abattoirs..... 470
Appareil d'incinération pour hôpitaux..... 472

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE VI

CHAUFFAGE DES GAZ, DES LIQUIDES ET DES SOLIDES.

§ 1er. — **Chauffage des gaz**..... 477
Chauffage par mélange..... 477
— par convection. — Utilisation des chaleurs perdues. — Appareils : — Franchot, — Ericson. — Accumulateurs : — Siemens, — Cowper. — Récupérateurs : — à parois métalliques, — à parois céramiques, — Gaillard et Haillot, — Lencauchez..... 480
Dimensions des accumulateurs et récupérateurs..... 491
Vapeur surchauffée. — Appareils : — Normand fils, — Testud de Beauregard, — Thomas et Laurens..... 492
Surchauffage par contact avec des gaz chauds. — Foyer Mary..... 496
Emploi de la vapeur surchauffée..... 497
Quantité de chaleur nécessaire pour surchauffer la vapeur. 498
Observation sur le chauffage par les gaz..... 498
§ II. — **Chauffage des liquides**..... 499
Chauffage par contact direct..... 499
— par transmission, avec foyer. — Chaudières à chicanes, — à dépôts, — à déversement..... 500

Chauffage de l'eau. — Chaudières : — de bains, — Bouillon, — Duvoir, — horizontale à foyer intérieur, — horizontale à carneaux intérieurs, — verticale à bouilleurs croisés..... 502
Surface de chauffe des chaudières à eau chaude..... 508
Chauffage de l'eau par circulation..... 509
Calcul d'une circulation d'eau chaude. — Application numérique. — Table des densités de l'eau d'après Despretz. 513
Postes d'eau chaude dans une habitation..... 519
Chauffage indirect. — Bain-marie. — Chauffage : — des vins, — des chaufferettes de wagons. — Quantité de chaleur à fournir..... 521
Chauffage : — par mélange d'eau, — par mélange de vapeur, — par barbotage (chauffage des chaufferettes de wagons), — par barboteur-injecteur..... 525
Quantité de vapeur à condenser pour chauffer par barbotage. 527
Chauffage par transmission à travers une paroi métallique. — Calcul de la surface chauffante. — Application..... 528

§ III. — Chauffage des solides..... 531
Cuisson du plâtre. — Fours à plâtre..... 532
Quantité de chaleur nécessaire à la cuisson du plâtre..... 533
Cuisson de la chaux. — Fours : — intermittents, — coulants, — à stratification de combustible..... 535
Quantité de chaleur nécessaire pour cuire la chaux..... 538
Fours à chauffe distincte..... 539
Cuisson du pain. — Fours de boulanger..... 540
Four locomobile Geneste, Herscher et Somasco, — démontable à augets..... 543
Fours à foyer distinct, — Perkins, — Rolland, — à cuisson continue..... 547
Cuisson des briques : — en plein air, — dans les fours. — Four à foyers successifs, — Hoffmann, — Bourry..... 554
— à chariots mobiles, — à foyer mobile..... 556
— à poteries, — à porcelaine..... 557
— de verrerie, — Appert frères..... 558
— à recuire les fils de fer et d'acier, — Bourry..... 561
— à réverbère. — Foyer à tuyère..... 562
Fours crématoires : — Polli, — Müller et Fichet, — Gorini, — Siemens, — Bourry, — Geneste et Herscher, — Guichard. 563
Chauffage par la vapeur surchauffée. — Distillation des schistes. — Appareil dégoudronneur, système Geneste, Herscher et Somasco..... 570
Appareils d'économie domestique. — Fourneaux de cuisine, — au charbon de bois, — au coke, — à la houille, — à la vapeur, — Égrot..... 574
Cuisine au gaz. — Fourneaux Vielliard..... 579

Chauffage des bains. — Appareil à contact direct, — Vielliard. — Appareil à bouilleur et réflecteur, — à circulation. — Remarques..... 582

CHAPITRE VII

REFROIDISSEMENT.

Divers modes de refroidissement..... 586
Refroidissement à une température peu différente de celle de l'air ambiant, — à la température ambiante..... 586
— de l'air au contact de l'eau ou de parois souterraines..... 587
— par évaporation de l'eau..... 589
— de l'eau de condensation des machines à vapeur..... 591
— par transmission à travers une paroi. — Réfrigérant Tamisier, — Neubecker, — Baudelot, — Laurence..... 592
— de l'air au contact d'un réfrigérant. — Expériences du général Morin..... 597
Production du froid et de la glace.....
Dissolution de sels. — Mélanges frigorifiques..... 601
Appareils intermittents. — Vaporisation d'un liquide dans le vide. — Expériences de Leslie. — Appareil Carré. — Vaporisation d'un gaz liquéfié et refroidi. — Expériences de Faraday. — Appareil Carré..... 603
Appareils continus..... 606
Machines à détente de gaz comprimé, — à air..... 607
Calcul du refroidissement..... 612
Machines à évaporation de liquide et à liquéfaction des vapeurs dégagées.—Machines à un liquide,—à deux liquides. 617
Machines à éther, — Carré..... 621
— à ammoniaque liquéfié, — Fixary..... 622
— à acide sulfureux, — Pictet. — Calcul de la quantité d'acide sulfureux à employer..... 626
— à acide carbonique liquide, — Windhausen..... 630
— à chlorure de méthyle, — Vincent..... 632
Machines à évaporation de liquide et à dissolution des vapeurs formées, — Rouart frères..... 635
Applications..... 639
Fabrication de la glace transparente. — Conservation de la glace. — Glacières..... 639
Refroidissement de l'air à basse température. — Appareil Fixary..... 644
Conservation de la viande. — Procédés Rouart frères..... 645

CHAPITRE VIII

VENTILATION ET CHAUFFAGE DES LIEUX HABITÉS.

§ Ier. — **Ventilation** 648

Considérations générales. — Nécessité de la ventilation.. 648
Causes de la viciation de l'air d'une enceinte habitée. — Influence de la respiration, — de la transpiration, — des appareils d'éclairage 651
Volume d'air nécessaire à la ventilation 655
Proportion limite d'acide carbonique admissible dans une enceinte habitée. — Proportion d'acide carbonique dans une enceinte habitée après un temps d'occupation donné. — Exemples de calcul. — Remarques diverses 656
État hygrométrique de l'air. — Calculs 664
Hygromètre 668
Influence des matières organiques 669
Conclusion 670
Considérations générales sur les divers systèmes de ventilation 676
Principes à observer pour la ventilation des lieux habités. 676

§ II. — **Ventilation naturelle** 679

Vitres perforées. — Appareils : — Mackinnel, — Muir, — Noualhier 684
Appareil mobile. — Appareil fixe 687
Dimensions des gaines d'évacuation 688
Conclusion 689

§ III. — **Ventilation par cheminée chauffée** 690

Chauffage des cheminées d'appel 701
Calcul des dimensions des cheminées d'appel et des appareils de chauffage de l'air de ventilation 703
Appareil de chauffage de la cheminée d'appel 707

§ IV. — **Ventilation mécanique** 710

Ventilation du tunnel de Liverpool 712

§ V. — **Chauffage** 717

Exposé sommaire de la question. — Température intérieure des lieux habités. — Température extérieure.... 717
Quantité de chaleur nécessaire au chauffage des lieux habités 722
Chauffage continu avec régime établi 723
Chaleur transmise à travers les parois 724
— nécessaire pour chauffer l'air de ventilation..... 725
— dégagée par la respiration, — dégagée par les appareils d'éclairage 726

Quantité totale de chaleur à fournir..... 728
Application des formules. — Tableau de calculs..... 730
Influence de la position relative d'une pièce chauffée dans un bâtiment..... 738
Quantité de chaleur par mètre cube de capacité..... 741
Variation de température du plafond au sol sur la hauteur d'une enceinte habitée..... 744
Quantité de chaleur à fournir en tenant compte du décroissement de la température du plafond au sol..... 747
Établissement d'un régime de température..... 752
Inertie calorifique..... 755
Temps nécessaire pour établir le régime..... 757
Chauffage intermittent..... 759
Applications..... 760
Exposé sommaire des règles à suivre pour le chauffage des lieux habités..... 761

§ VI. — **Appareils de chauffage. — Historique**..... 762

§ VII. — **Cheminées d'appartement**..... 764

Cheminée de Conisborough..... 764
Cheminées : — Rumfort, — Lhomond, — Arnott, — prussienne..... 766
Mesure de la chaleur rayonnée par un foyer. — Rendement des cheminées..... 771
Conduits de fumée, — mitres..... 773
Cheminées perfectionnées : — Bronzac, — Savot, — Péclet, — Joly, — Fondet, — Douglas-Galton, — général Morin. 775
Cheminées à gaz : — Jacquet..... 783
Observations sur les cheminées à feu découvert. — Dangers d'incendie..... 784
Cheminées qui fument. — Insuffisance de tirage. — Tuyaux de fumée communiquant entre eux. — Action du vent. 786

§ VIII. — **Poêles**..... 790

Braseros..... 791
Poêles simples sans circulation d'air. — Poêle lyonnais. — Poêles : — Gurney, — Geneste et Herscher, — en faïence, — Russe, — Walker, — Joly..... 791
Poêles mobiles, — Choubersky, — Cadé..... 797
Poêles à enveloppe avec circulation d'air..... 800
Poêles : — Martin, — Geneste et Herscher, — Musgrave, — de la Cie Parisienne du Gaz, — Müller..... 801
Poêle à gaz..... 804
Poêle Geneste et Herscher pour écoles..... 805
Rendement des poêles, — leurs dimensions..... 807
Disposition générale d'un chauffage au moyen de poêles.. 812
Observations sur le chauffage par les poêles..... 813

§ IX. — **Calorifères à air chaud** 815
Calorifères à cloche, — à tuyaux verticaux, — à tuyaux horizontaux, — à caisses en tôle, — d'Hamelincourt, — Grouvelle, — Geneste et Herscher, — R. Duvoir, — Ph. Grouvelle 815
Calorifères à foyer extérieur, — à tubes horizontaux, — à tubes verticaux, — Bourdon 825
Calorifères céramiques, — Gaillard et Haillot, — Geneste et Herscher, — Michel Perret 828
Observations sur l'établissement des calorifères à air chaud. — Prises d'air froid. — Conduits d'air chaud. — Conduits d'évacuation 833
Calcul des dimensions d'un calorifère à air chaud. — Section des prises d'air froid et des conduits d'air chaud.. 840
§ X. — **Chauffage par l'eau chaude** 847
Divers systèmes de chauffage par l'eau chaude 848
Chauffage à eau sans pression et à grand volume 849
Chaudières à eau chaude, — à corps cylindrique, — tubulaire horizontale, — multitubulaire, — Grouvelle, — Chibout, — inclinée, — verticale, — tubulaire verticale, — à alimentation continue. — Chaudière placée dans une cheminée d'appartement 853
Vase d'expansion 861
Moyens divers pour éviter les projections d'eau hors du vase d'expansion 862
Dispositions diverses de chauffage par circulation d'eau chaude 863
Surfaces chauffantes à eau chaude 869
Chauffage à eau chaude indirect 870
Calcul des éléments d'un chauffage à eau. — Grille. — Chaudière. — Cheminée. — Surface chauffante. — Diamètre des canalisations 873
Application 879
Chauffage à eau sans pression à moyen volume 880
— par l'eau chaude sous pression, — à grand volume 882
— à haute pression, système Perkins 883
— à moyenne pression. — Système microsiphon. — Système Grouvelle 885
Avantages du chauffage à eau à moyenne pression 892
Systèmes divers de chauffage à eau. — Appareil à pulsations. — Appareil Chibout. — Circulation par entraînement au moyen d'un jet de vapeur. — Appareil Cuau... 892
Distribution d'eau chaude sous pression 896
§ XI. — **Chauffage par la vapeur** 897
Considérations générales 897

Disposition générale d'une installation de chauffage par la vapeur 899
Chauffage avec retour indirect 900
— à basse pression, — Geneste et Herscher 902
Disposition appliquée en Allemagne et en Autriche 907
Chauffage à basse pression, Grouvelle 908
— — à retour direct 913
— — à surfaces chauffantes variables. 916
Chaudières à vapeur. — Chaudières employées en Amérique. 918
Appareils accessoires. — Régulateur à membrane : — Bœchem et Post, — Kœrting. — Soupapes de sûreté. — Surfaces chauffantes. — Purgeurs d'air. — Régulateur d'alimentation 921
Calcul des éléments d'un chauffage à vapeur 926

§ XII. — **Chauffage mixte par l'eau chaude et la vapeur** 930
Chauffage mixte par transmission à travers une paroi. — Disposition de Ph. Grouvelle 931
Chauffage mixte par transmission directe. — Surfaces chauffantes : — Geneste et Herscher, — Grouvelle, — Sulzer. 934
Avantages et inconvénients du chauffage mixte 938
Procédés d'application de la ventilation et du chauffage.. 939
Exemples divers d'installations. — Sorbonne. — Hôtel de ville de Paris. — École centrale des Arts et Manufactures. — Lycée. — Groupe scolaire de Bagnolet. — Théâtre de Rotterdam. — Bureaux de l'administration de la gare d'Atocha. — Prison de la Santé. — Hôpital-hospice Auban-Moët. — Nouvelles serres du Muséum. — Ateliers de la maison de la Belle Jardinière. — Assainissement des ateliers 943
Table des poids et des volumes de l'air saturé de vapeur d'eau et de l'air sec, à diverses températures 968

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

ERRATA

	Au lieu de :	*Lire :*
Page 640, ligne 6, en descendant	la vapeur	une partie de la vapeur.
— — 4, en montant	le liquide	le fluide.
— — 3, —	Id.	l'eau.

3880-99. Corbeil. — Imprimerie E. Crété.

89089670186

B89089670186A